



Curva característica de un eje de motor, mediante datos obtenidos por un sistema de medición inercial

Characteristic curve of a motor shaft, using data obtained by an inertial measurement system

Curva característica de um eixo de motor, usando dados obtidos por um sistema de medição inercial

Julio Eduardo Cajamarca-Villa ^I
julio.cajamarca@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-6568-6037>

Gabriel Vinicio Moreano-Sánchez ^{III}
gabriel.moreano@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9331-8223>

Eduardo Segundo Hernandez-Davila ^{II}
ehernandez@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4899-2371>

Alan Patricio Del Pino-Valencia ^{IV}
alandp4@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7331-3612>

Correspondencia: julio.cajamarca@epoch.edu.ec

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

***Recibido:** 18 de junio de 2021 ***Aceptado:** 15 de julio de 2021 *** Publicado:** 10 de agosto de 2021

- I. Máster Universitario en Ingeniería Electromecánica, Ingeniero Electrónico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Ecuador.
- II. Magíster en Gestión del Mantenimiento Industrial, Ingeniero de Mantenimiento, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Ecuador.
- III. Máster Universitario en Automática y Robótica, Máster Universitario en Diseño y Gestión de Proyectos Tecnológicos, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica Ecuador.
- IV. Ingeniero de Mantenimiento, Colaborador Independiente, Ecuador.

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo analizar la viabilidad de utilizar sensores IMU de bajo costo para la obtención de la curva característica del comportamiento de un eje de motor eléctrico, para esto se realizó una experimentación sobre un eje de pruebas con los sensores ADXL 335 y WT901BLECL, la toma de datos para la obtención de las respectivas curvas se generó mediante una interpolación polinómica de Lagrange en el software de MATLAB, observando que para tener un error por debajo del 3% se necesita un polinomio de grado 5 que permite una mayor confiabilidad, además se observó que este es un método de análisis del comportamiento del eje del motor, que es factible para realizar en estudios futuros la alineación de ejes de motores eléctricos.

Palabras clave: IMU; Sensores; Matlab; Polinomio; Curva.

Abstract

The objective of this research is to analyze the feasibility of using low-cost IMU sensors to obtain the characteristic curve of the behavior of an electric motor shaft, for this an experimentation was carried out on a test shaft with the ADXL 335 and WT901BLECL sensors. , the data collection to obtain the respective curves was generated by means of a Lagrange polynomial interpolation in the MATLAB software, observing that to have an error below 3% a polynomial of degree 5 is needed that allows greater reliability Furthermore, it was observed that this is a method of analyzing the behavior of the motor shaft, which is feasible to carry out the alignment of electric motor shafts in future studies.

Keywords: IMU; Sensors; Matlab; Polynomial; Curve.

Resumo

O espadarte, *Xiphias gladius*, é um importante recurso pesqueiro comercial devido à sua alta demanda, tanto nos mercados locais do Equador como para exportação. Devido ao fato de que seu padrão de reprodução pode mudar em diferentes regiões geográficas, a biologia reprodutiva desta espécie capturada em águas tropicais do oceano Pacífico oriental, nas proximidades de Galápagos, Equador, foi estudada no presente trabalho. As amostragens mensais foram realizadas entre janeiro e dezembro de 2018 com observadores de pesca a bordo de navios de palangre que desembarcaram

no porto de pesca de Manta. Foram avaliados 209 espécimes, sendo 154 do sexo feminino (73,7%) com tamanhos compreendidos de 105-226 cm FL e média de $175,4 \pm 31,7$ cm FL; e 55 homens (26,3%) com comprimentos de 92-181 cm FL e média de $172 \pm 28,1$ cm FL. A proporção sexual desviou significativamente do esperado 1M: 2,8H. O Índice Gonadossomático se manifestou sincronicamente em ambos os sexos, refletindo dois picos máximos de reprodução, em março-abril e setembro-novembro. O comprimento da maturidade sexual (L50) para as fêmeas foi 152,48 cm FL e para os machos 140,55 cm FL. A análise histológica das gônadas em desenvolvimento revelou 5 estágios: I e II (Imaturo) III (Amadurecimento) IV (Maduro) e V (Desova), demonstrando que a espécie é desova parcial porque o crescimento do oócito foi assíncrono. Na ausência de uma medida local de conservação do recurso espadarte, recomenda-se que seja estabelecida entre setembro e novembro, e que seja partilhada pelas frotas que operam no oceano Pacífico oriental.

Palavras-chave: IMU; Sensores; Matlab; Polinomial; Curva.

Introducción

Uno de los pilares fundamentales dentro de la industria a nivel mundial son los motores eléctricos, los mismos que en la mayoría de más maquinas son el corazón de estas (Lugo Hermanos S.A, 2017), (WEG, 2016), estos producen la mayor parte del consumo de la energía eléctrica dentro de la industria mundial, teniendo un porcentaje entre el 60% al 70% de consumo (Grupo ICE, 2021) (Sergio Espada Moya, 2015) (BV Equipos Industriales SRL, 2013).

Es por ello por lo que se han realizados motores de alta eficiencia para disminuir el consumo energético (Bonett, 2001) (Castrillón et al., 2004) (Mantilla Peñalba & Ciro Quispe, 2004), a más de esto existen varias recomendaciones que se hace para el uso de estos motores, así como para el uso de motores tradicionales (Eduardo Pincolini, 2021) (Londoño-Parra & Ramírez-Echavarría, 2013) (Viego Felipe et al., 2015).

Tomando en consideración la importancia de los motores dentro de la industria, nos lleva a la investigación de los procesos de alineación que existen en la industria y la importancia que tiene en la eficiencia energética, debido a las pérdidas que esto generará (Guillermo, 2016) (Enrique & Vinicio, 2017) (Cóndor, Jahzeel, 2020), y a su vez el daño prematuro de las partes del motor (Quiliche Chatilán, 2019), lo cual incrementará el costo de mantenimiento.

En la actualidad existen diferentes métodos y herramientas para la alineación como por ejemplo de tipo mecánico tenemos, cintas métricas y reglas, micrómetros, herramientas de alineación óptica, etc. y sistemas de tipo electrónicos como las sondas de proximidad, detectores laser, codificadores ópticos entre otros (Marcelo Morales, Manuel Contreras, 2015) (Garrido, 2010) (SKF, 2021) (MYG Inc Motores Eléctricos, 2020), un problema en algunos de estos tipos de alineadores es el costo que representa la adquisición de estos sistemas para pequeñas industrias o talleres, es por ello que en la mayoría de empresas no realizan una correcta alineación del rotor del motor hacia la carga que tendrá el mismo por medio de los diferentes tipos de acoplamiento existentes (Alberto Luis Farina, 2018), es por ello que se han realizado algunas investigaciones en sistemas de alineación de bajo costo (Hernández-Dávila et al., 2020), que permitan mejorar las pérdidas generadas por la falta de alineación de motores, en este ámbito se ha tomado en consideración la utilización de sensores de tres ejes, los mismos que han tenido mucha utilidad en una diversidad de sistemas posicionamiento de los ejes en el espacio como es dentro de maquinaria industrial, vehículos de transporte, celulares, y una variedad de dispositivos electrónicos (MK.BECOR, 2021), este sensor permitirá analizar la posición en el espacio del eje del motor con relación a su carga. Existe una gran variedad de sensores en la actualidad que nos den las prestaciones deseadas (5Hertz - Electrónica, 2021), para ello se consideró utilizar dos sensores de bajo costo, el ADXL 335 y WT901BLECL, los cuales son utilizados en diferentes investigaciones (Fredy Antonio Martínez Sánchez, 2016) (Granados & Sergio, 2014) (Galán & Antonio, 2015). Estos sensores se comunicarán mediante I2C a una tarjeta de Arduino que se encargara del procesamiento de señales y como tarjeta de adquisición de datos, que permitirán la obtención de curvas en el espacio de los ejes de motor. En investigaciones futuras se realizará la implementación de los sensores con un hardware y software que nos permita realizar la alineación del eje de motor.

Materiales y métodos

Para la realización del presente estudio se ha tomado sistemas de medición inercial (IMU) que son dispositivos que calculan y dan información de la velocidad, orientación y fuerzas gravitacionales (Luengas-Contreras et al., 2017). Incorporan magnetómetros, giroscopios y acelerómetros y para control y procesamiento de estos sensores realiza mediante microcontroladores (Cuenca & León, 2017).

Figura. 1. Unidad de medición inercial IMU



(Avila, 2015)

De acuerdo con (Blascarr, 2017) se dice que:

- Acelerómetro: mide la aceleración de los tres ejes en el espacio.
- Giroscopio: mide la velocidad angular de los tres ejes en el espacio.
- Magnetómetro: mide la orientación angular respecto a los polos magnéticos de la tierra en los ejes de coordenadas.

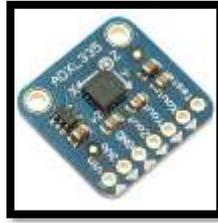
Las IMU son capaces de capturar y analizar el movimiento, tomando datos de ángulos, posición y velocidad (Luengas Contreras et al., 2017).

Selección del sensor

Para la sección del sensor se tomó varios criterios como datos que muestra el sensor, tamaño, capacidad para medir parámetros eléctricos, frecuencia de trabajo, necesidad de alimentación externa, rango de temperaturas soportadas, sensibilidad y precisión.

Se seleccionó dos sensores el primero es el acelerómetro ADXL 335 (Figura. 2), por su tamaño, fácil adquisición y su sencilla programación.

Figura. 2. Sensor ADXL 335



Este es un sensor de 3 ejes pequeño, delgado y de baja potencia. Mide la aceleración estática y dinámica con un rango mínimo de escala completa de $\pm 3G$. Para este trabajo experimental solo se utilizó la aceleración estática para medir la inclinación.

Entre las aplicaciones que tiene este sensor están:

- Detección de movimiento e inclinación en circuitos de baja potencia.
- Dispositivos móviles.
- Protección de unidades de disco.
- Determinación de la orientación a través de la gravedad.
- Dispositivos deportivos y de salud.

El voltaje de alimentación de este sensor es de 1.8V, hasta 3.6V. Utiliza una estructura única para detectar los ejes X, Y y Z, las direcciones de detección de estos tres ejes son ortogonales.

Este sensor necesita de un microcontrolador externo para funcionar y ser programado, se utilizó el Arduino Mega 2560, que funciona a 5V.

El segundo sensor con el que se trabajó es el WT901BLECL (Figura. 3), Este sensor es de 9 ejes (ángulo de 3 ejes, velocidad y aceleración angular y campo magnético). este es un sensor que consta con un giroscopio de alta presión, acelerómetro, sensor geomagnético MPU9250 y microprocesador de alto rendimiento Cortex-M0, funciona con una frecuencia de hasta 50MHz, además del bajo consumo de energía y el alto rendimiento, la transmisión es de tipo inalámbrica, para lo cual cuenta con bluetooth, con una estabilidad de transmisión y una distancia superior a 50 metros. (Model & Imu, 2019)

Figura. 3. Sensor WT901BLECL



El voltaje de trabajo es de 3.3V-5V, incorpora una batería de 250mAh, que puede durar unas 10 horas de trabajo. La aceleración mide hasta $\pm 16g$, la velocidad angular $\pm 2000^\circ / s$ y los ángulos: $X Z \pm 180^\circ$, $Y \pm 90^\circ$.

Software

Para el sensor ADXL 335 la programación se la realizo en el Software Arduino 1.8.13 (Figura. 4), cuyo lenguaje de programación está basado en C/C++, compatible con diferentes sistemas operativos como Windows, Linux o Mac.

Figura. 4. Software Arduino 1.8.13



El software para manejar el WT901BLECL es el MiniIMU versión 5.0 (Figura. 5) que es propio del sensor.

Figura. 5. Software Mini IMU



y por último se desarrolló en el software Matlab una aplicación para poder recolectar los datos, graficar los datos de los sensores, y encontrar la curva característica, como se observa en la (Figura. 6).

Figura. 6. Aplicación para toma de datos y graficas



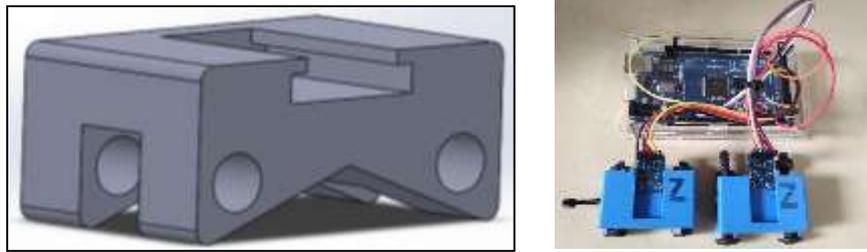
Calibración

Para utilizar el sensor ADXL 335 y el sensor WT901 BLECL hay que calibrar. Para esto se colocan los sensores en una superficie plana y a nivel, luego se procede a abrir los programas respectivamente, para el ADXL 335 el sensor iniciara con un valor de 0 en la posición colocada, a partir de ahí se realizarán todas las mediciones, para el WT901 BLECL dentro del software en configuraciones tendremos la opción de calibración que demora cerca de 5 seg., al finalizar la misma el sistema genera un OK.

Diseño de soportes y eje

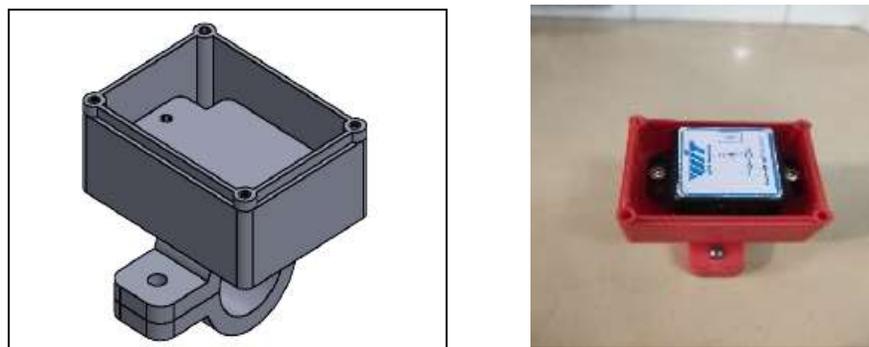
Para el sensor ADXL 335 se realizó un soporte que se pueda acoplar al eje de pruebas, se sujeta a través de unos pernos y amarras como se muestra en la Figura. 7

Figura. 7. Soporte para el sensor ADXL 335



Para el sensor WT901BLECL se diseñó un soporte en forma del propio sensor con una tapa, y para ser acoplado al eje se hizo un acople en forma de argolla, se sujeta mediante tornillos, como se muestra en la Figura. 8.

Figura. 8. Soporte para el sensor WT901BLECL



Los dos soportes se elaboraron con políácido láctico (PLA), mediante un proceso de impresión 3D. Los sensores se sujetaron con tornillos a los soportes para que no se muevan al momento de realizar las pruebas los cuales van a ir colocados en un eje de pruebas como se puede observar en la Figura. 9

Figura. 9. Eje de pruebas



El eje de pruebas se diseñó con el fin de simular desviaciones de manera vertical y horizontal para ver si los sensores son capaces de detectar las desviaciones, moviendo unos pernos que se colocaron en el eje de pruebas.

Obtención de la curva

La ecuación que se utilizó para dibujar la curva característica es la regresión polinómica de LaGrange, esta regresión es la que más se acopla a cualquier tipo de curva, teniendo datos positivos y negativos.

$$p(x) = \sum_{k=0}^n \prod_{\substack{i=0 \\ i \neq k}}^n \frac{x-x_i}{x_k-x_i} y_k \quad (1)$$

Resultados y análisis

Se realizaron 5 pruebas al sensor ADXL 335 y WT901 BLECL y una prueba comparativa entre los dos sensores, siendo en total 11 pruebas, para validar con cual prototipo se obtiene la curva característica. En la Figura. 11 se indican los resultados correspondientes a la prueba número 3.

Con un total de 20 muestras, la prueba se realizó (Figura. 10) con una desviación provocada en el eje Y se puede observar que con este sensor no detecta la desviación provocada en el eje Y en ningún punto, se observa también que en algunos puntos en el ángulo X y Y están casi paralelos. El ángulo que se tomó como referencia en el eje X porque sobre este eje se va a dar la rotación, con respecto al eje Y y Z.

Figura. 10. Eje de pruebas con el sensor ADXL 335

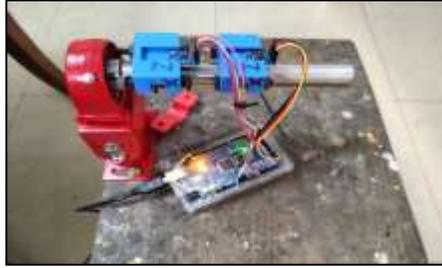


Figura. 11. Sensor ADXL 335, prueba con el eje inclinado 5 grados hacia abajo



En la Figura. 12. se indican los resultados correspondientes a la prueba numero 3

Figura. 12. Sensor WT901 BLECL, prueba 3 con el eje inclinado 5 grados hacia arriba



En esta prueba se realizó una desviación en el eje Y, consistió en hacer girar el sensor al redor del eje durante 14,1 segundos, el sensor detecta el desvió en el eje Y con un valor máximo de - 5,6°. En el eje Z tiene un valor que oscila en -1,5°, el eje X se tomó como eje de referencia porque es donde se da la rotación con respecto al eje Y y Z.

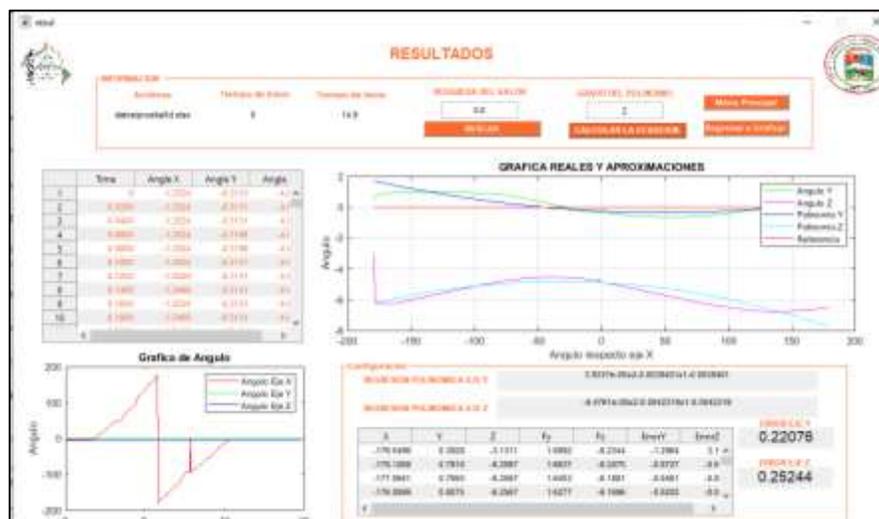
En la Figura. 13, se muestra el eje de pruebas con el sensor WT901 BLECL que entrega datos más precisos en comparación al anterior, dando más información con lo que ayuda a dibujar una curva característica.

Figura. 13. Comportamiento del sensor WT901 BLECL sobre el eje de pruebas



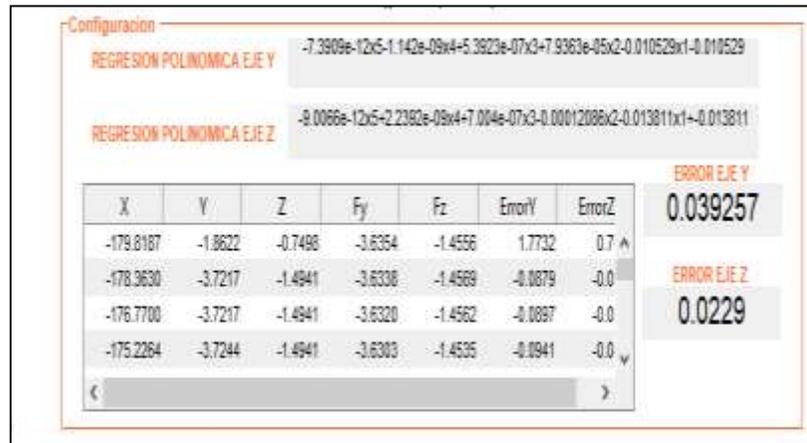
En la Figura. 14. Se puede ver como la interpolación realizada con un polinomio de grado 2 nos genera un error del 22% que no estaría dentro de un valor considerable para el análisis.

Figura. 14. Gráfico de la curva característica de la cuarta prueba con grado de polinomio 2



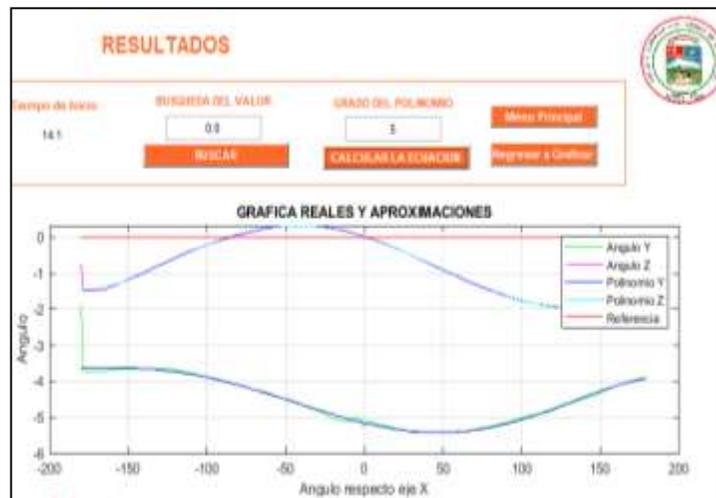
Como se observa en la Figura. 15. se tiene ecuaciones según la ecuación (1) tanto para el eje Y como el Z, con un grado de error del 3,9% y 2,2% en los ejes Y y Z respectivamente. Considerando que a menos grado del polinomio el error era más alto.

Figura. 15. Ecuación de la curva característica con grado de polinomio 5



Las ecuaciones sirven para dibujar la curva que se da alrededor del eje X. Como se observa en la Figura. 16 las curvas características del eje Y y Z, con estas curvas se puede saber en qué eje esta desviado con respecto al eje X.

Figura. 16. Curva característica del sensor WT901 BLECL con grado de polinomio 5



Conclusiones

Para la realización de la investigación se tomó en consideración la viabilidad de utilizar un IMU como sistema para analizar el comportamiento del eje de un motor, para ello se consideró dos sensores de bajo costo, de los cuales se observa que el WT901 BLECL es capaz de detectar las desviaciones con un mínimo de error de diferencia que en este caso es lo que se requiere, pero

cabe acotar que para alineación de sistemas se necesitaría un grado más alto de precisión para cumplir su propósito.

La utilización de IMU para la alineación de ejes es viable, pues con estos sensores se puede analizar el comportamiento del giro del eje de motor, que se pudo observar en 5 grados de desalineación provocados en el eje de este.

Recomendaciones

Para aplicaciones a nivel industrial los sensores a elegir deberán de ser de alta precisión, debido a que las desalineaciones que se presentan en los motores suelen ser mínimas, imperceptibles para la vista, lo que genera la necesidad de equipos que ayuden a esto, en esta investigación solo se analizó la viabilidad de la utilización de sensores IMU para este cometido, es por ello por lo que el error considerado no es representativo para nuestro análisis.

El análisis con regresión polinómica debería de ser superior al 4to grado para tener resultados aceptables y que a su vez presenten un bajo error en la obtención de las ecuaciones características.

Referencias

1. 5Hertz - Electrónica. (2021). ABC del acelerómetro. https://www.5hertz.com/index.php?route=tutoriales/tutorial&tutorial_id=2
2. Alberto Luis Farina. (2018). Motores eléctricos | Motores eléctricos trifásicos: Montaje y puesta en marcha | Editores. https://editores-srl.com.ar/revistas/ie/338/si_farina_motores_trifasicos
3. Avila, J. (2015). IMU & AHRS algorithms.
4. Blascarr. (2017). Introducción al IMU - Sistemas de navegación Inercial. <http://blascarr.com/lessons/introduccion-al-imu-sistemas-de-navegacion-inercial/>
5. Bonett, A. H. (2001). Behavior of high efficiency electric motors; Comportamiento de motores electricos de alta eficiencia. *Energía Racional*, 10. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20412675>
6. BV Equipos Industriales SRL. (2013). Importancia del uso de Motores de Alta Eficiencia en la Industria de Rep. Dom. <http://bvequipos.com/noticias/item/importancia-del-uso-de-motores-de-alta-eficiencia-en-la-industria-de-rep-dom>

7. Castrillón, R., Quispe, E., & Quintero, J. A. (2004). Una Metodología para Implementar el Uso Eficiente de Motores Eléctricos en la Industria. 4.
8. Córdor, Jahzeel. (2020). Evaluación de Pérdidas Energéticas en Motores Eléctricos trifásicos asíncronos utilizando análisis termográficos. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL.
9. Cuenca, L., & León, J. (2017). Implementación De Un Sistema De Navegación Inercial, Para Mejorar La Precisión De Posicionamiento De Un Prototipo Gps En Una Trayectoria Dentro De La Espoch. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
10. Eduardo Pincolini. (2021). Recomendaciones para el Ahorro de Energía en Motores Eléctricos. www.cietconsultora.com.ar
11. Enrique, F. I. J., & Vinicio, S. P. F. (2017). MODELO EMPÍRICO DE INFLUENCIA DE LA DESALINEACIÓN EN EL CONSUMO ENERGÉTICO EN UN MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO ASINCRÓNICO JAULA DE ARDILLA DE 5 HP. 2017, 96.
12. Fredy Antonio Martínez Sánchez. (2016). Laberinto a Base de Sensor IMU.
13. Galán, F., & Antonio, J. (2015). Diseño de un sensor para una boya oceanográfica de bajo costo. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/1244>
14. Garrido, S. G. (2010). La contratación del mantenimiento industrial. Ediciones Díaz de Santos.
15. Granados, B., & Sergio, L. (2014). Caracterización y Clasificación de Señales de Actividad Física Repetitivas Mediante Sensores de Aceleración de Tres Ejes. <http://erecursos.uacj.mx/handle/20.500.11961/4235>
16. Grupo ICE. (2021). Buenas prácticas de eficiencia energética para Motores Eléctricos Industriales.
17. Guillermo, C. B. D. (2016). DETERMINACIÓN DE PERDIDAS ENERGÉTICAS QUE SE PRODUCEN EN MOTORES TRIFÁSICOS ASINCRÓNICOS TIPO JAULA DE ARDILLA (MAJA3F) POR LA EVOLUCIÓN DE MODOS DE FALLO MEDIANTE TERMOGRAFÍA. 109.
18. Hernández-Dávila, E. S., Moyano-Arévalo, J. R., & Barahona-Alvear, N. S. (2020). Método para la alineación de ejes de máquinas rotacionales conformado por componentes de poliláctico. *Dominio de las Ciencias*, 6(2), 975-999. <https://doi.org/10.23857/dc.v6i2.1196>

19. Londoño-Parra, C. M., & Ramírez-Echavarría, J. L. (2013). Normas de Eficiencia Energética de Motores de Inducción, ¿Está Preparada Latinoamérica? *TecnoLógicas*, 30, 117-147.
20. Luengas Contreras, L., López Ávila, B., & Jiménez Ezpinoza, J. (2017). Caracterización de unidades de medición inercial (IMUs) en estática y dinámica. *Ingenio Magno*, 8(1), 92-102.
21. Luengas-Contreras, L., López-Ávila, B., & Jiménez-Espinosa, J. (2017). Caracterización de unidades de medición inercial (IMUs) en estática y dinámica. *Ingenio Magno*, 8, 92-102.
22. Lugo Hermanos S.A. (2017, julio 25). MOTORES ELÉCTRICOS INDUSTRIALES: DEDIQUE MÁXIMA ATENCIÓN. Lugo Hermanos - Proveedor Integral de Soluciones para la Industria. <https://www.lugohermanos.com/blog-industrial/maxima-atencion-a-motores-electricos-industriales/>
23. Mantilla Peñalba, L. F., & Ciro Quispe, E. (2004). Motores eléctricos de alta eficiencia: Características electromecánicas, ventajas y aplicabilidad. *Revista Energía Computación*, 2004, 12(1), 11-19. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/1936>
24. Marcelo Morales, Manuel Contreras. (2015). *ALINEACION Y BALANCEO*.
25. MK.BECOR. (2021). Sensor de Vibración. I2oT Solutions. <https://i2otsls.com/sensor-de-vibracion/>
26. Model, S., & Imu, A. (2019). WT901BLECL Bluetooth 5. 0 Gyro Sensor Catalog. 1-25.
27. MYG Inc Motores Eléctricos. (2020). Alineamiento de motores eléctricos. <https://motoresygeneradores.com/alineamiento-de-motores-electricos/>
28. Quiliche Chatilán, J. (2019). Diseño de soporte para evitar deterioro prematuro de rodamientos, sellos mecánicos, poleas y fajas, por excesiva vibración en motor de bomba warman, en Minera Yanacocha, 2019. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/35912>
29. Sergio Espada Moya. (2015). Motores Eléctricos Eficientes para el Sector Industrial. UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.

30. SKF. (2021). Alineación de ejes por láser.
<https://www.skf.com/co/products/maintenance-products/alignment-tools/shaft-alignment/about-shaft-alignment>
31. Viego Felipe, P. R., Borroto Nordelo, A. E., & Gómez Sarduy, J. R. (2015). Barreras para incrementar la eficiencia de sistemas accionados por motores eléctricos. *Revista Universidad y Sociedad*, 7(3), 63-73.
32. WEG. (2016). *Guía de Especificación de Motores Eléctricos*.

© 2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)