

# DETECCIÓN DE BARRAS ROTAS EN MOTORES DE INDUCCIÓN UTILIZANDO LA STFT

Villalpando Hernández, Josué Uriel (1), Dr. Cabal Yopez, Eduardo (2)

<sup>1</sup> [Bachillerato General, Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato] | [ju.villalpandohernandez@ugto.mx]

<sup>2</sup> [Departamento De Estudios Multidisciplinarios, División De Ingenierías Irapuato-Salamanca] | [educabal@ugto.mx]

## Resumen

El motor de inducción en la industria tiene una gran relevancia al ser una maquinaria que está sometida a gran trabajo por su buen rendimiento y baja necesidad mantenimiento. Aun así puede presentar fallas con el paso del tiempo en sus componentes; cuando se presenta alguna de ellas se ve reflejado en aspectos mecánicos, energéticos, de eficiencia o económicos. Una de las fallas más comunes es la presencia de barras rotas de la jaula de ardilla perteneciente al rotor del motor. La contribución de este trabajo es el uso de un sistema de detección de barras rotas mediante el análisis de la corriente eléctrica consumida, producto del funcionamiento inadecuado del motor. El método propuesto fue el uso de un análisis de tiempo-frecuencia por medio de la STFT ( Short Time Fourier Transform) de señales producidas por motores de inducción en estado sano y con presencia de barras rotas para poder hacer una comparación y detección. Gracias a ello, se obtuvo la visualización gráfica del comportamiento de los componentes de la frecuencia de la falla por las barras rotas a través del tiempo desde el inicio de un motor hasta su estado estable (transitorio de arranque).

## Abstract

The induction motor is of great importance for industry because it supports long work cycles due to its good performance and low maintenance needs. Even so, it may have some defects due to worn-out components. When a fault is present it is reflected in mechanical, energy, efficiency or economic aspects. One of the most common problems in an induction motor is the presence of broken rotor bars. The contribution of this work is the use of a time-frequency signal processing technique for detecting broken rotor bars analyzing the electrical current supply signal. The used method was the time-frequency analysis by STFT (short-time Fourier Transformation) considering the electric current signal from a healthy induction motor and that one from a motor with broken rotor bars for comparison and detection. The behavior of the frequency components were graphically visualized for both cases through the time-frequency technique from the motor startup until it reached its steady state (Startup transient).

## Palabras Clave

Motor de inducción; Barras Rotas; Transformada de Fourier; STFT; Jaula de ardilla

## INTRODUCCIÓN

Los motores de inducción son importantes en la industria, pueden presentar desperfectos, causantes de posibles pérdidas de aprovechamiento mecánico, energético y económico. Dentro de las fallas mecánicas [1] normalmente se presentan la rotura de barras, desbalance y daño en cojinetes.

Para evitar problemas es necesario contar con métodos de análisis y prevención de fallas en estos motores. Algunas de estas técnicas están basadas en el análisis de señales eléctricas, como el que se pretende usar en este proyecto.

El objetivo general es la detección de barras rotas en motores de inducción mediante un análisis tiempo-frecuencia. La técnica propuesta para realizarlo es la STFT (Short Time Fourier Transform) analizando la señal de corriente suministrada al motor de inducción en diferentes estados para realizar una comparación, esperando detectar en la falla un fenómeno de forma romboidal o triangular conforme avance el tiempo en las frecuencias de la STFT.

### Motor de inducción y sus partes

Los motores asíncronos o de inducción [2] (imagen 1) son un tipo de motores de corriente alterna en el que la corriente eléctrica del rotor necesaria para producir torsión es inducida por el campo magnético generado en la bobina del estator.

La máquina de inducción se compone fundamentalmente de tres partes básicas, ellas son: carcasa, estator y rotor.

La primera protege las partes eléctricas y operativas del motor de los efectos dañinos del ambiente en que el motor opera. El estator y el rotor son circuitos electromagnéticos que funcionan como los electroimanes. El estator es la parte eléctrica estacionaria del motor. Sobre el rotor hay 2 tipos, el devanado y de jaula de ardilla, el segundo tiene un núcleo sólido y su respectiva jaula (IMAGEN 2) que consiste en una serie de barras conductoras, colocadas dentro de las ranuras del rotor con sus extremos puestos en cortocircuito por medio de dos anillos.

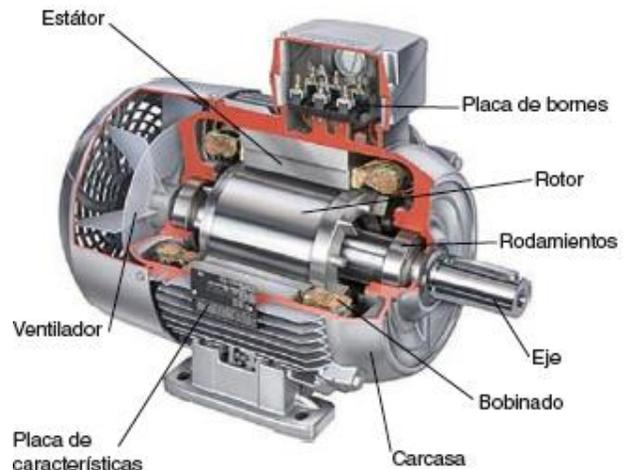


IMAGEN 1: Motor de inducción mostrando sus elementos.

### ¿Qué efectos producen las barras rotas?

En primera instancia, las barras rotas [2] producen variaciones en el campo magnético del motor. Evidenciándose en: mayor consumo de corriente eléctrica, vibración mecánica, pérdida de torque o par motriz, sobrecalentamiento.

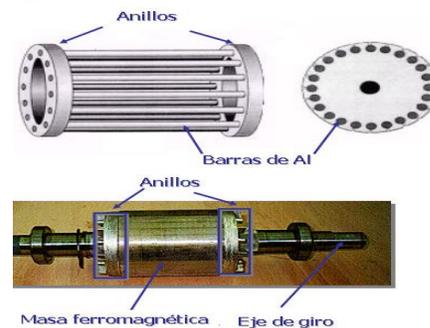


IMAGEN 2: Jaula de ardilla con barras de aluminio y rotor [2].

### Causas de las fallas en el rotor de jaula de ardilla

Se distinguen dos momentos críticos en la vida del motor, que influirán negativamente en la integridad del rotor, esto son: El arranque y la sobrecarga momentánea.

Las principales causas son; las altas temperaturas alcanzadas durante la operación, las elevadas fuerzas centrífugas que soportan tanto barras como anillos de corto circuito (especialmente durante regímenes de funcionamiento transitorio), defectos de fabricación en la fundición (Los puntos

donde se ubican los defectos generan puntos de alta temperatura por elevada resistencia eléctrica).

### Desarrollo de la falla en las barras rotas

El proceso inicial de una falla por barras rotas puede ser originados por dos motivos, estos son: Durante la construcción del rotor queda porosidad interna en las barras o durante la vida útil del motor se somete a exceso de arranques o arranques directos con alta carga. Esto produce sobre calentamiento y expansión térmica de los materiales, donde el más afectado es la jaula de aluminio o cobre, en contraposición al núcleo de hierro.

En el momento en que se produzca un punto inicial de falla o fractura, un ciclo degenerativo da inicio:

1. Sobrecalentamiento alrededor del punto de fractura.
2. Fisura en el punto, ampliación de la fractura.
3. Arco eléctrico por falso contacto y el flujo de la corriente. Se sigue ampliando la fractura.
4. Las barras sanas adyacentes se cargan más de corriente, lo que produce mayores esfuerzos térmicos y mecánicos sobre éstas barras.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la detección de barras rotas es necesario realizar un análisis tiempo-frecuencia usando la STFT en Matlab para comparar los resultados obtenidos de una señal captada en un entorno controlado de dos motores de 1 HP con jaula de 24 barras uno en estado sano y otro con 2 barras rotas, posteriormente identificar las componentes de frecuencia de una falla por las barras rotas en el transitorio de arranque.

### Análisis tiempo-frecuencia (STFT)

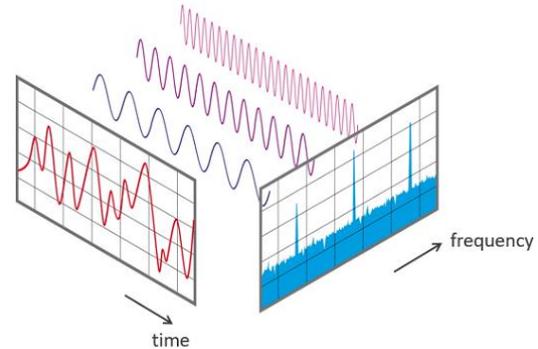
La Transformada de Fourier de Tiempo Corto (Short-time Fourier transform, STFT) está relacionada con la Transformada de Fourier, la cual es usada para determinar el contenido en frecuencia sinusoidal y de fase en secciones locales de una señal así como sus cambios con respecto al tiempo.

La transformada de Fourier [4] es una técnica bien conocida y ampliamente utilizada para procesar señales. Se considera como la descomposición de

la señal en sus componentes de frecuencia, y esta dada por;

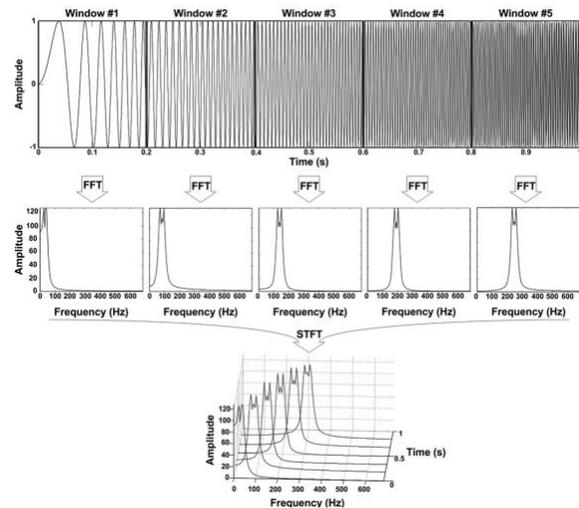
$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt$$

La correspondiente función en frecuencia es obtenida de la integral de la función respecto al tiempo por el Kernel de transformación.



**IMAGEN 3:** Ejemplo del uso de la transformada de Fourier en el cual a partir de una señal se obtienen las frecuencias que la componen .

La STFT es una extensión de la FFT (fast fourier transform) que permite determinar las frecuencias de la señal en secciones locales a medida que la señal cambia en tiempo, dividiendo la señal en pequeñas ventanas de tiempo, donde cada ventana se analiza utilizando FFT.



**IMAGEN 4:** Elaboración de la STFT en una señal Chirp, es dividida en ventanas, en las cuales se le calcula su respectiva FFT a cada una y se van trasladando a través del tiempo. Se observa cómo va aumentando la frecuencia de la señal en función del tiempo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis tiempo-frecuencia utilizando Matlab se observaron las señales de un motor sano y de un motor con 2 barras rotas, obteniendo los siguientes resultados:

La señal obtenida del motor en estado sano (imagen 5) refleja el alto consumo de corriente en los primeros instantes hasta que se estabiliza. Al aplicarle la STFT (imagen 6) se observa la componente fundamental de la señal de 60 Hertz y cómo va disminuyendo el consumo de corriente en razón del tiempo.

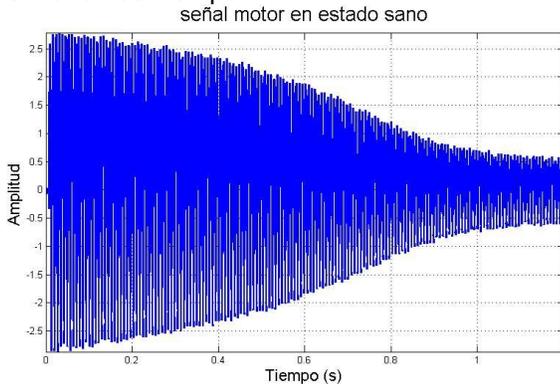


IMAGEN 5: Señal de motor de inducción en estado sano.

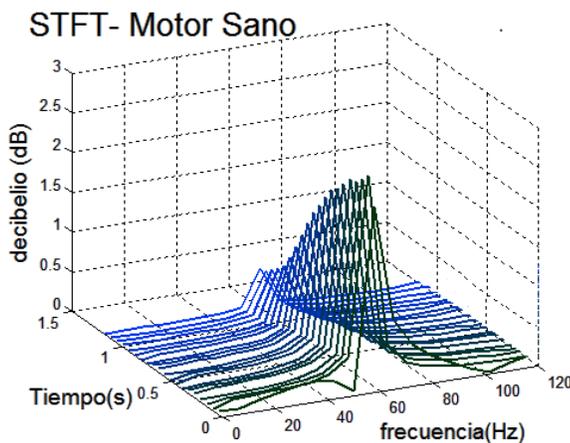


IMAGEN 6: STFT de la señal del motor en estado sano.

A la señal del motor con 2 barras rotas (imagen 7) se le aplicó un filtro rechazo de banda (Notch) para eliminar su componente fundamental de 60 Hertz y poder visualizar con mayor claridad los posibles efectos provocados por las barras del motor. En la STFT del motor dañado (imagen 8) se observa parte de la frecuencia fundamental filtrada

(línea amarilla) y medio rombo en relieve partiendo con una frecuencia de magnitud baja que disminuye de los 60 Hz a 0 Hz y posteriormente vuelve a los 60 Hz (línea verde) dentro del tiempo transitorio de arranque, reflejando una anomalía en las barras de la jaula de ardilla

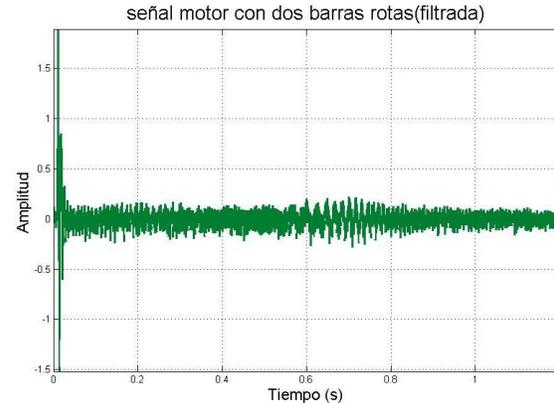


IMAGEN 7: Señal de motor con dos barras rotas.

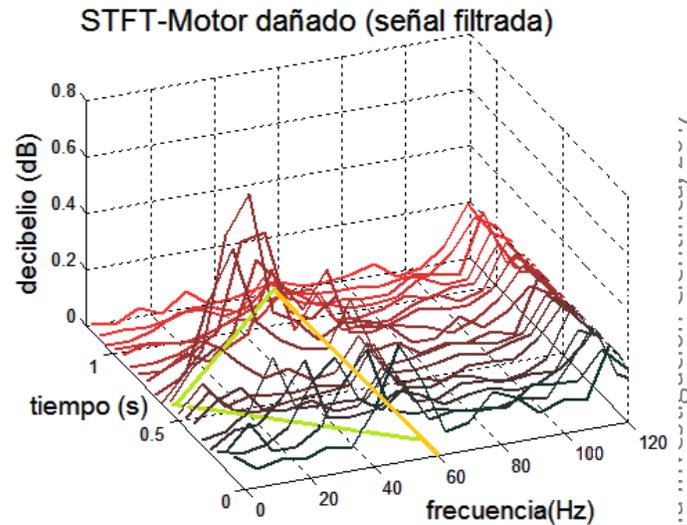


IMAGEN 8: STFT de la señal del motor con 2 barras rotas.

## CONCLUSIÓN

En el análisis y comparación de las señales de motores de inducción en distintos estados de salud por medio de la STFT (Short Time Fourier Transform) se logró la detección de barras rotas en la jaula de ardilla del motor y la visualización gráfica del comportamiento de las componentes características en frecuencia de la falla en el tiempo (análisis frecuencia-tiempo) mostrando su

evolución desde que el motor empieza a funcionar hasta que alcanza su estado estable (transitorio de arranque).

Esta herramienta de detección de fallas, que utiliza la señal de corriente suministrada al motor, es de gran utilidad para el monitoreo del estado de salud de un motor de inducción, a fin de llevar a cabo procesos eficientes, seguros y económicos en la industria.

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quisiera agradecer a la Universidad de Guanajuato por brindarnos la oportunidad de participar en una experiencia muy buena en nuestra vida académica. También agradezco a la Dra. Claudia Erika Morales Hernández por el todo el apoyo y atención que me brindó para la participación en el verano. Finalmente, el desarrollo de esta investigación no hubiera sido posible sin la oportunidad de trabajo y el asesoramiento del Dr. Eduardo Cabal Yopez, al igual que el apoyo del Mtro. Luis Manuel Ledesma Carrillo.

## REFERENCIAS

[1] Damian Ovando, M.G.,García Pérez, A. (2016) Detección De Falla De Desbalance Mecánico En Motores De Inducción Por Medio De Sonido. Verano de la Investigación Científica Vol. 2(No.1), pp 1960-1962.

[2] Martínez Cruz, D. (2011) Motores de Inducción . Recuperado el 14 de julio 2017 de <https://maquinaselectricasunam.jimdo.com/temario/motores-de-inducci%C3%B3n/>

[3] Rotores con Barras Rotas (2014) recuperado el 12 de julio 2017 de; <http://www.motortico.com/biblioteca/MotorTico/2014%20MAR%20-%20Rotores%20con%20Barras%20Rotas%20.pdf>

[4] Cabal Yopez, E., García Ramírez, A. G., Romero Troncoso, R.J., García Pérez, A. & Osornio Ríos R. A., (2013). Reconfigurable Monitoring System for Time-Frequency Analysis on Industrial Equipment Through STFT and DWT. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS ,Vol.9(No.2), pp. 760-771.

[5] Palm W. J., (1998) Introduction to MATLAB for engineers (3r Ed.) . New York: McGraw-Hill. Capítulo 1 An Overview of MATLAB (pp. 15-45)

[6] Gonze, D., Matlab Reference (- Created: 25/1/2008 - Updated: 15/12/2015) Recuperado el 20 de junio 2017 de [http://www.cimat.mx/~max/Informatica%20Aplicada/bibliografia/MATLAB\\_reference.html](http://www.cimat.mx/~max/Informatica%20Aplicada/bibliografia/MATLAB_reference.html)

[7] Huang W., Fast Fourier Transform and MATLAB Implementation, recuperado el 18-julio-2017 de <https://www.utdallas.edu/~dlm/3350%20comm%20sys/FFTandMatLab-wanjun%20huang.pdf>