

# CARACTERIZACIÓN DE FALLAS POR VIBRACIÓN EN ELECTRODOMÉSTICO (LAVADORA)

***Aldo Jesús Álvarez Cárdenas***

Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo

*aldoalvarez@live.com.mx*

***Álvaro Sánchez Rodríguez***

Instituto Tecnológico de Celaya

*alvaro.sanchez@itcelaya.edu.mx*

***Gustavo Serrato García***

Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo

*gustavo\_sg29@hotmail.com*

## **Resumen**

En este artículo se presenta la identificación de fallas o anomalías que se pueden presentar en un electrodoméstico. La detección de fallas y componentes se realiza por medio del procesamiento de señales de vibración. Se realizaron pruebas del comportamiento o condiciones de operaciones normales del electrodoméstico para luego ser comparadas con fallas inducidas. Se consideraron 3 tipos de fallas que son: Desbalanceo, desalineación y soltura mecánica. Se utiliza los espectros de potencia para comparar las amplitudes en las frecuencias en cada prueba. Se detectó el incremento de amplitudes en los órdenes 1x en el desbalanceo, también se detectó el incremento de amplitudes en los órdenes 1x, 2x y 3x en la desalineación y cambio en las amplitudes en los armónicos de la frecuencia fundamental cuando se indujo una soltura mecánica. Finalmente se detectó el incremento de la frecuencia fundamental y el armónico 2x en una desalineación paralela de las poleas.

**Palabra(s) Clave(s):** Detección de fallas, espectro, vibraciones.

## Abstract

*In this article, it is presented and identified the failures in home appliances. Failure detection of components it is done thru processing of signal vibrations. Behavioral Test were conducted under normal operation conditions of the home appliances to be compared with induced failures. Three types of failures were considered unbalanced, misalignment and mechanical looseness. Power spectrum was utilized to compare the amplitudes of the frequencies in each test. Increment of amplitudes were detected in the order of 1x in unbalanced, also increment amplitudes were detected in the orders of 1x, 2x, and 3x in misalignment. Changes of harmonics amplitudes of the fundamental frequency were detected when mechanical looseness was induced. Finally, an increment in the fundamental frequency was detected including 2x harmonic in a misalignment of parallel pulleys.*

**Keywords:** *Failure detection, spectrum, vibrations.*

## 1. Introducción

La detección de fallas en sistemas mecánicos o incluso sistemas estructurales como edificios y puentes, se ha convertido en uno de los principales objetivos en el análisis de vibraciones. Ya que estos sistemas presentan distintos patrones característicos de vibración a diferentes condiciones de operación o trabajo, es importante estudiarlos y con ello caracterizar el comportamiento al que está sujeto. Una de las principales aplicaciones del estudio de las vibraciones es en el área de mantenimiento, ya que con el análisis de vibraciones monitorean la condición de las máquinas. Las prácticas más comunes en esta área es la detección de anomalías en maquinaria como desbalanceo, desalineación, solturas mecánicas, etc [1]. También la detección de frecuencias naturales y resonancia es común en la para la detección de anomalías en rodamientos, ventiladores, abanicos, compresores, etc. El área de mantenimiento no es la única en la que el análisis de vibraciones ha incursionado, también se ha empleado para determinar la calidad de un producto terminado. Esto se logra ya sea detectando fallas o falta de componentes en un ensamble de un producto, incluso también detectando posibles fallas durante el proceso de fabricación como es el caso de una pieza maquinada [2,3].

Existen diversas técnicas de procesamiento de señales de vibración que se clasifican en técnicas en el dominio del tiempo, en el dominio de la frecuencia, en el dominio tiempo – frecuencia y el análisis de orden.

Para el estudio de las vibraciones, se utilizan en su gran parte técnicas en el dominio de la frecuencia, que predomina el análisis por medio de la Transformada Rápida de Fourier (FFT, por sus siglas en inglés), el cual genera un gráfico llamado espectro de potencia. Esta técnica permite visualizar las frecuencias de operación de maquinaria y equipo y permite detectar fallos y anomalías en un sistema.

A pesar de existir una serie de técnicas, en este estudio se detectan a través de los espectros de potencia diferentes condiciones en un electrodoméstico, para ser más específico en una lavadora vertical con capacidad de 17 kg de carga. Las condiciones de estudio son: Desbalanceo, desalineación, detección de componentes y soldadura mecánica. Estas condiciones se establecieron considerando posibles defectos durante el proceso de ensamble de un producto, que puedan llegar ser detectadas antes de la entrega del producto al cliente.

## **2. Metodología**

### **Diagrama de Bloques Funcionales**

En un sistema o máquina existen componentes como fuentes de ruido y vibración, así como transmisores. E. Matus [4] propone un diagrama de bloques funcionales para el entendimiento del ruido y vibración de una lavadora de carga frontal, con el fin de facilitar el entendimiento y proponer mejoras en la etapa de diseño, prediciendo el comportamiento de las fuentes generadoras de ruido y vibración, así como también las transmisoras.

En base a esto se opta por generar un diagrama de bloques funcionales del elemento de estudio, figura 1.

En este modelo se muestra algunos componentes de la lavadora como fuentes y transmisores de vibración. En la base está colocado el motor que acciona por medio de poleas al tambor de la lavadora. El tambor está sujeta a una estructura o gabinete por medio de amortiguadores y la bomba, al igual que el motor esta soportada por la misma base del motor.

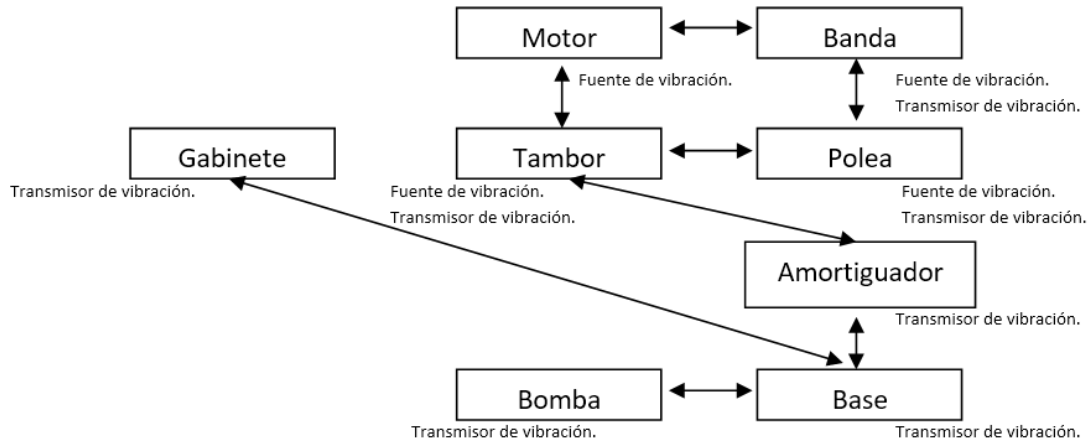


Figura 1 Diagrama de bloques funcionales de vibración.

## Instrumentación

Medir las vibraciones es el aspecto más importante. Se colocaron dos acelerómetros en el elemento de estudio. Uno de ellos triaxial y el otro uniaxial. El acelerómetro triaxial se coloca cerca de una fuente de vibración, por lo que se coloca en la base. El acelerómetro uniaxial se coloca en el gabinete.

El acelerómetro triaxial nos proporciona una medición en tres ejes. En la figura 2 se muestra la disposición de los acelerómetros.

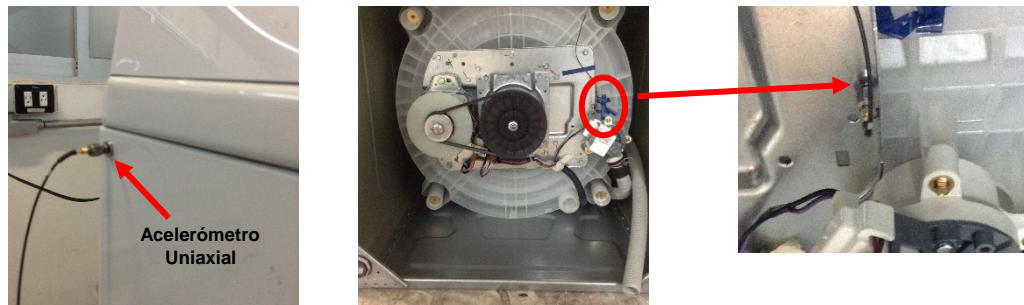


Figura 2 Acelerómetro uniaxial en el gabinete y triaxial en la base de la lavadora.

## Procesamiento de señales

El acelerómetro da como respuesta una señal en el dominio del tiempo, en donde se puede tener una gráfica de amplitud de aceleración vs tiempo. Por lo que se tiene que hacer uso de filtros y la conversión de la señal en el dominio de la frecuencia para poder analizarla.

Es usual referirse al espectro de potencia cuando se investiga en datos de vibración en el dominio de la frecuencia. La FFT proporciona un medio rápido y conveniente para calcular la transformada de Fourier Discreta de información obtenida a través de vibración, una función de ventana se puede utilizar para forzar a los datos de la vibración se muestren como periódico, lo cual reduce la fuga de la frecuencia de un componente a otro. Para obtener la señal en el dominio de la frecuencia y poder ser interpretada en un espectro de potencia, por lo general se utiliza el método Welch para la estimación del espectro [5].

## **Características de las Pruebas**

Para poder caracterizar fallas o componentes es necesario conocer las condiciones de operación normal del elemento de estudio, por lo que la primera prueba se le llama línea base. Posteriormente se inducen ciertos modos de operación o incluso fallas que pueden ocurrir en el elemento de estudio durante su ensamble y que estas puedan ser detectadas por medio de vibraciones en una prueba funcional. Las pruebas funcionales son comunes en líneas de ensamble para validar la funcionalidad del producto o de sus componentes.

Se indujeron seis fallas funcionales de las cuales podemos clasificar como: Desbalanceo, desalineación y soltura mecánica. También se realizaron pruebas con dos elementos clasificados como fuentes de vibración que en este caso son el motor y la bomba, con la finalidad de reconocer las frecuencias de aportación al sistema. Las pruebas de desbalanceo consistieron en colocar dos masas, de manera independiente, al interior del tambor. Las masas correspondientes son de 1 lb y 2 lb a 3" de altura.

Las pruebas de desalineación consistieron en una desalineación de la lavadora, aumentando la altura en el soporte frontal izquierdo y una desalineación paralela de las poleas.

Para inducir una soltura mecánica se optó por disminuir el torque de 5 tornillos que soportan la base de la lavadora. La última prueba consistió en operar de manera individual el motor y la bomba, por lo que ningún elemento de la lavadora fue accionado a excepción de los mencionados.

### 3. Análisis de Resultados

La figura 3a muestra el espectro de potencia de la prueba denominada como línea base, así como la del desbalanceo. La frecuencia predominante es la del giro del tambor que es aproximadamente 600 rpm o 10 Hz. La frecuencia experimental obtenida de giro del tambor es de 10.31 Hz con amplitudes en el eje Y del acelerómetro triaxial de 0.05 en condiciones normales. Las frecuencias con desbalanceo de 1 lb y de 2 lb son de 10.30 Hz con una amplitud de 4.195 y 10.29 Hz con una amplitud de 13.34 respectivamente. En cada una de ellas se identifica un incremento en la amplitud de potencia del espectro.

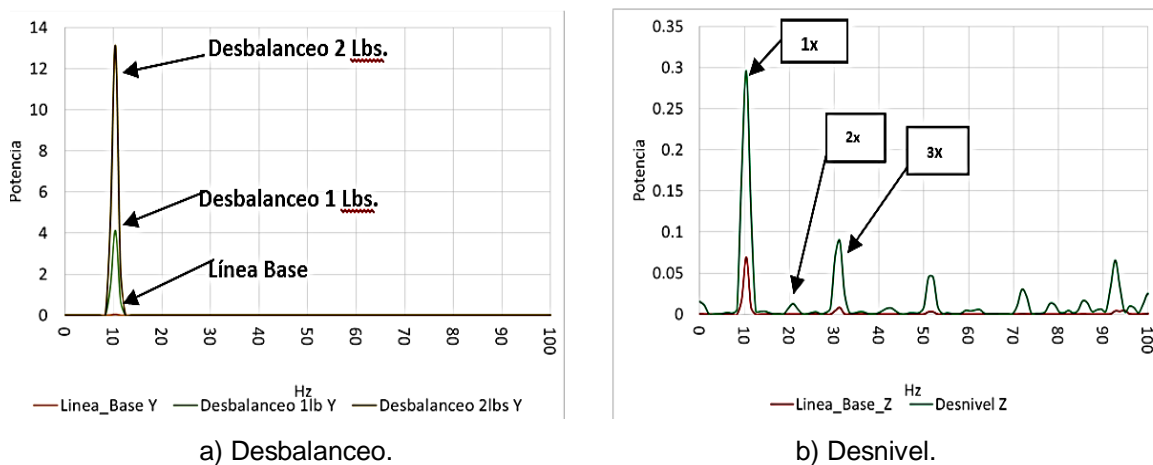


Figura 3a) Comparación de amplitudes de frecuencia.

La figura 3b muestra la comparación de los espectros de frecuencia en el eje Z del acelerómetro triaxial. El incremento en los armónicos 1x, 2x y 3x es característico del desnivel que se indujo en la lavadora aumentado la altura en uno de sus soportes. El armónico 1x como la velocidad de giro del tambor. Se obtuvieron las frecuencias y amplitudes correspondientes a estos armónicos del acelerómetro triaxial en el eje Z. Las frecuencias y las amplitudes correspondientes a los armónicos obtenidas fueron de 10.31 Hz a 0.29, 20.73 Hz a 0.012 y 30.93 a 0.059 respectivamente.

La figura 4 se muestra un incremento o disminución de amplitud en las bandas laterales de la frecuencia de giro del tambor y la frecuencia giro del motor. Esta

característica se obtuvo a partir de la falta de tensión de la banda. La distancia entre centros de las poleas se disminuyó lo cual provoco una disminución en la tensión de la banda. Esta característica se obtuvo a partir de una conversión de pico-pico de las crestas del espectro, para facilitar la visualización del fenómeno.

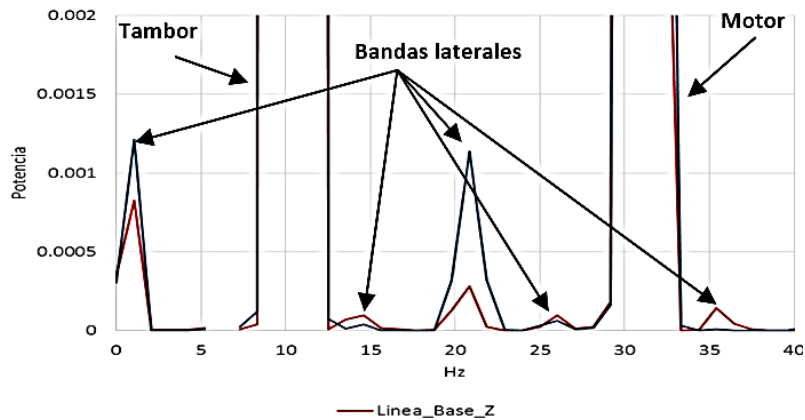


Figura 4 Identificación de bandas laterales provocadas por la tensión de la banda.

Es característico que en la desalineación paralela de poleas la frecuencia fundamental y la frecuencia 2x tienda a aumentar la amplitud, cuando se presenta esta condición. En la figura 5 se observa un incremento tanto en la amplitud de la frecuencia fundamental que corresponde a 10.31 Hz, como también en la frecuencia de 20.62 Hz que corresponde al armónico 2x.

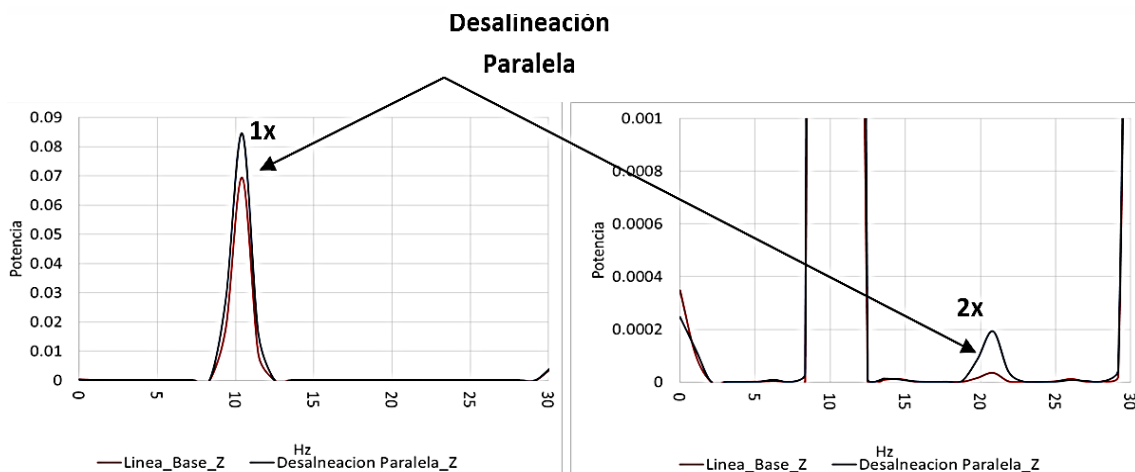


Figura 5 Frecuencia fundamental y armónicos en desalineación paralela de poleas.

La soltura mecánica de la base se realizó disminuyendo el torque a 5 tornillos que sujetan la base al tambor. La amplitud que corresponde a la frecuencia de la velocidad de giro del tambor aumento en esta prueba. En la figura 6 se observa como también las amplitudes de los armónicos tienen esta tendencia, fenómeno característico en solturas mecánicas. El eje Z del acelerómetro triaxial fue considerado para este análisis, ya que es el eje normal al plano de la base.

La última prueba experimental se realizó accionando la bomba de manera independiente y el motor de la misma manera, logrando así identificar las frecuencias que aportan al sistema. Durante la operación de la bomba como una fuente de vibración se excitan las frecuencias naturales de otros componentes como pueden ser el gabinete, la base, los amortiguadores, resortes entre otros componentes. Una forma de conocer las frecuencias naturales de otros componentes puede ser a través de métodos experimentales como el martillo de impacto y soluciones numéricas por simulación. La figura 7 muestra la identificación del motor y de la bomba, así como también las frecuencias en las que oscilan las bandas o correas y algunos armónicos del sistema.

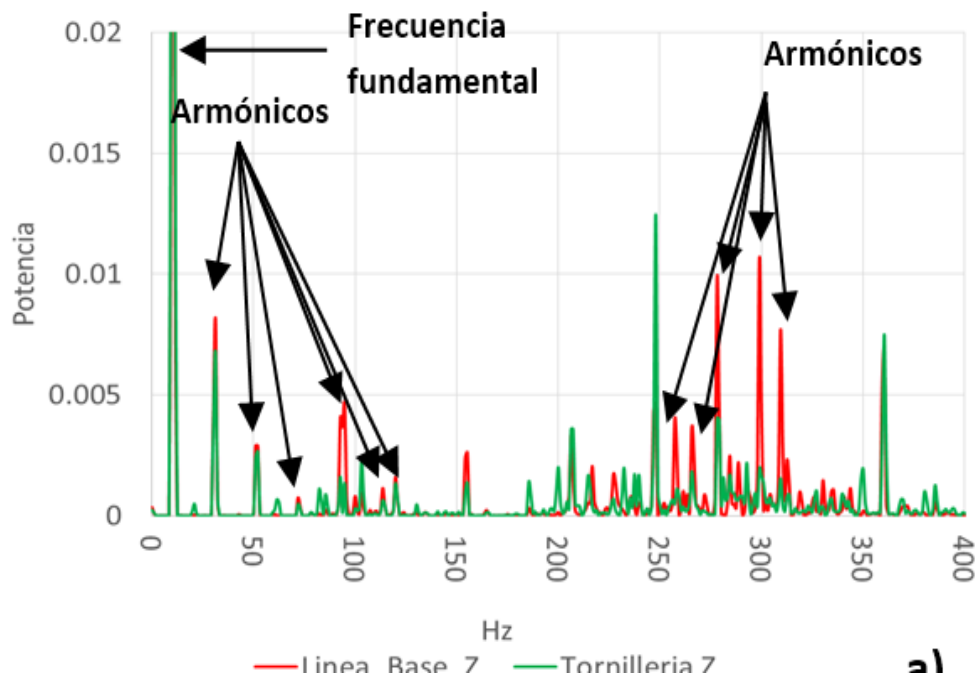


Figura 6 Presencia de armónicos por soltura mecánica.



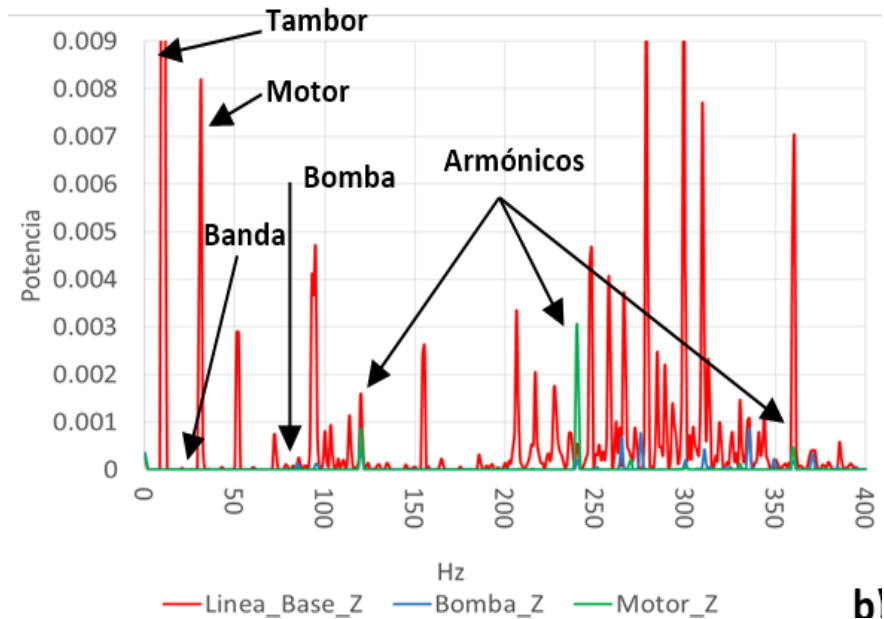


Figura 7 Frecuencias de distintos componentes y armónicos.

#### 4. Discusión

Para el procesamiento de las señales se utilizó una función ventana tipo Hamming en todas las pruebas. También se utilizó un valor cuadrático medio (RMS) para la conversión de los picos de frecuencia. En la detección de la falta de tensión de la banda o correa de las poleas no se detectaron las bandas laterales del espectro bajo este criterio, por lo que se optó en utilizar una conversión de pico a pico. Las figuras 8 y 9 muestran la comparación de la línea base de la lavadora con el desajuste de la banda con la conversión RMS de los picos de la frecuencia.

Las amplitudes de la frecuencia son pequeñas comparándolas con la amplitud de la frecuencia fundamental. Es por eso que se optó en una adecuación mediante la formulación pico a pico y para mejorar la interpretación de la gráfica.

En un espectro de orden se puede facilitar la identificación de los armónicos, sin embargo, debido a que la frecuencia fundamental se aproximaba a los 10 Hz se consideró que en el espectro de potencia se tiene una clara distinción de los armónicos.

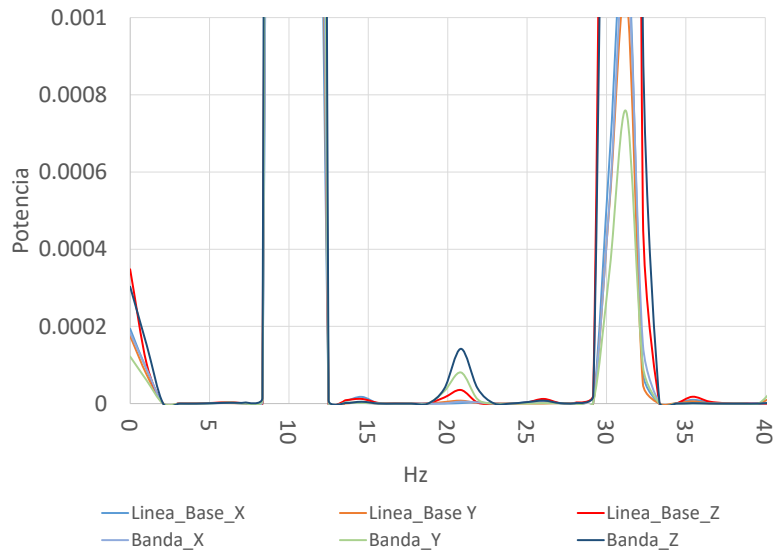


Figura 8 Espectro de potencia con conversión RMS de los picos de la frecuencia.

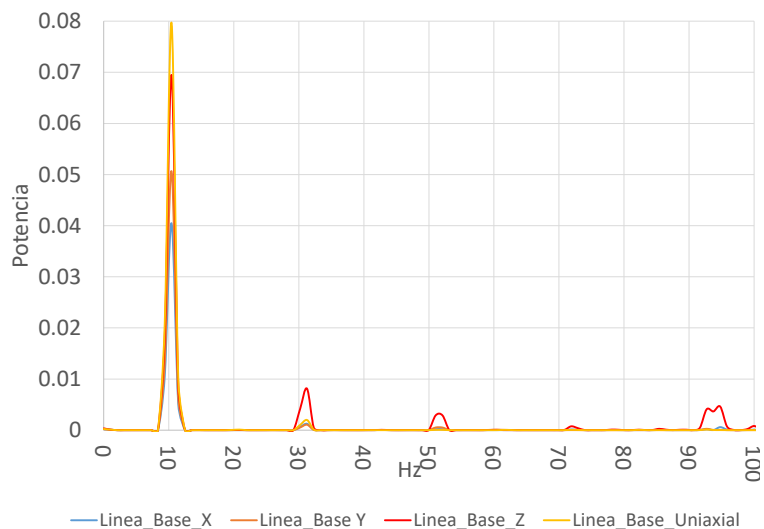


Figura 9 Frecuencias obtenidas del acelerómetro uniaxial y el acelerómetro triaxial.

## 5. Conclusiones

Se concluye que mediante el uso de los espectros de potencia se pueden identificar fallas y componentes de un electrodoméstico de línea blanca. Esto con la finalidad de incursionar en la detección en pruebas funcionales durante o al final de una línea de ensamble.

En este artículo se mostró la comparación de los espectros de vibración en condiciones normales de operación de una lavadora entre cuatro fallas inducidas,

así como también las frecuencias que aportan el motor y la bomba al espectro de vibración.

Las mediciones se realizaron de 0–1000 Hz, sin embargo, la mayoría de los análisis se enfocó en un rango de 0–100 Hz para detectar las anomalías descritas. A partir de estos resultados se puede concluir que existe un cambio de amplitudes en ciertas frecuencias durante las pruebas funcionales con falla inducida, sin embargo, cabe mencionar que es necesario relacionar los cambios de amplitudes con respecto a los diferentes tipos de fallas para que se mas fácil la detección de la misma.

## **6. Bibliografía y Referencias**

- [1] G. Mosquera, M. Piedra Y R. A. Armas Cardona, “Las Vibraciones Mecánicas y su Aplicación al Mantenimiento Predictivo”. Segunda edición. 2001. Centro de altos estudios gerenciales ISID.
- [2] Hertlin, “Measurement and Evaluation of the Natural Frequencies of Components and Assemblies in Manufacturing and in the Laboratory”. 2011.
- [3] E. Zuñiga Y D. Olvera, “Mejora de las técnicas de maquinado. Medición de vibraciones en procesos de fresado”. InFocus. 2012.
- [4] E. Matus, L. Ballesteros, A. Thompson, “Determinación de fuentes de ruido de lavadora de carga frontal”, XVI Congreso internacional anual de la SOMIM, Monterrey, Nuevo León, México, 1 (4). (09-2010). p.9.
- [5] H. Rani Gupta, R. Mehra y S. Batan, “Power Spectrum Estimation Using Welch Method for Various Windows Techniques” International Journal of Scientific Research Engineering & Technology. 2013. pp. 389-392.