

**FAULT DETECTION SYSTEM OF AN INDUSTRIAL ROTATORY MACHINE
BASED ON ESPECTRAL ANALYSIS METHODS****SISTEMA DE DETECCION DE FALLAS EN MAQUINAS ROTATIVAS
INDUSTRIALES BASADO EN EL METODO DE ANALISIS ESPECTRAL**

**Ing. Fany Yoana Reyes Barrera, Ph.D. Rocco Tarantino Alvarado
MSc. Sandra Aranguren Zambrano**

Universidad de Pamplona
Instituto de Investigación y Desarrollo de Tecnologías Aplicadas (IIDTA)
Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.
Tel.: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303, Ext. 156
E-mail: fanyyo@ozu.es, (roccot, saranguren)@unipamplona.edu.co

Abstract: The present work is deals with the spectral analysis as a solution for preventive fault detection on rotating machines, increasing availability and plant productivity. The objective is generate a database with faults patterns, and to compare them with the spectrum that are actually entering to perform a statistical analysis, and finally to faults detection in its incipient stage.

Resumen: El presente trabajo trata del análisis espectral como una solución para la detección preventiva de fallas en máquinas rotativas, aumentando su disponibilidad y aumentando la productividad de la Planta. El objetivo es generar una base de datos con patrones con fallas, y compararlos con los espectros que están entrando, para después realizar un análisis estadístico y finalmente detectar las fallas en su etapa incipiente.

Keyword: Spectral analysis, Faults detection, Vibrations, FFT, Unbalance, Misalignment.

1. INTRODUCCION

La detección de posibles fallas en maquinarias es necesaria para una operación confiable y segura de una Instalación. El riesgo de fallas y el tiempo en que una maquinaria queda fuera de servicio pueden disminuirse sólo si los problemas potenciales son anticipados y evitados. Una de las herramientas fundamentales con que se cuenta en la actualidad para la detección de fallas en máquinas rotativa análisis de vibraciones que esta basado en un algoritmo matemático como lo es el análisis espectral.

En general, las vibraciones en una máquina no son buenas: pueden causar desgaste, fisuras por fatiga,

pérdida de efectividad de sellos, rotura de aislantes, ruido, etc. Pero al mismo tiempo las vibraciones son la mejor indicación de la condición mecánica de una maquinaria y pueden ser una herramienta de predicción muy sensible de la evolución de un defecto. Las fallas catastróficas en una maquinaria muchas veces son precedidas, a veces con meses de anticipación, por un cambio en las condiciones de vibración de la misma.

Las vibraciones en una maquinaria están directamente relacionadas con su vida útil de dos maneras: por un lado un bajo nivel de vibraciones es una indicación de que la máquina funcionará correctamente durante un largo período de tiempo, mientras que un aumento en el nivel de vibraciones

es una indicación de que la máquina se encamina hacia algún tipo de falla. Una de las herramientas fundamentales con que se cuenta en la actualidad para la detección preventiva de una máquina rotativa es la medición y análisis del espectro que presentan las vibraciones, ya que cerca del 90% de las fallas en maquinarias están precedidas por un cambio en las vibraciones de las mismas.

En el presente artículo se realizará una breve descripción de los tipos de fallas normalmente detectables a través de la medición y análisis de vibraciones, las etapas requeridas para hacer una detección por medio de análisis espectral.

2. MATERIALES Y METODOS

A continuación se describirá el método utilizado para la detección de fallas en máquinas rotativas.

2.1 La transformada rápida de Fourier (FFT)

El algoritmo FFT desarrollado esta basado en el método denominado de doblados sucesivos. Por conveniencia se expresa $F(u)$ de la forma:

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) W_{2M}^{ux} \quad (2.1)$$

Donde:

$$W_N = e^{-j2\pi/N} \quad (2.2)$$

N se supone que es de la forma

$$N = 2^n \quad (2.3)$$

Donde n es un entero positivo. Por tanto, N puede expresarse como:

$$N = 2M \quad (2.4)$$

Donde N es también un entero positivo. La sustitución de la ec (4.4) en la ec. (4.1) resulta:

$$F(u) = \frac{1}{2M} \sum_{x=0}^{M-1} f(x) W_{2M}^{ux} \quad (2.5)$$

$$\frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(2x) W_{2M}^{u(2x)} + \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(2x+1) W_{2M}^{u(2x+1)} \right\}$$

De la ec. (4.5) $W_{2M}^{u(2x)} = W_M^{ux}$, por tanto la ec.

(4.5) puede expresarse de la forma:

$$F(u) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(2x) W_M^{ux} + \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(2x+1) W_{2M}^{ux} W_M^{u(x)} \right\} \quad (2.6)$$

Definiendo

$$F_{par}(u) = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(2x) W_M^{ux} \quad (2.7)$$

Para: $u = 0, 1, 2, \dots, M$

$$F_{impar}(u) = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(2x+1) W_{2M}^{ux} W_M^{ux} \quad (2.8)$$

Para $u = 0, 1, 2, \dots, M-1$, entonces la ec. (2.7) se reduce a:

$$F(u) = \frac{1}{2} \{ F_{par}(u) + F_{impar}(u) W_M^{ux} \} \quad (2.9)$$

Así mismo como:

$$W_M^{u+M} = W_M^u \text{ y } W_{2M}^{ux} = W_M^{ux}$$

Entonces:

$$F(u+M) = \frac{1}{2} \{ F_{par}(u) - F_{impar}(u) W_M^{ux} \} \quad (2.10)$$

Una transformada de N puntos puede calcularse dividiendo la expresión original en dos partes, como indican las ecuaciones (2.7)-(2.10) el cálculo de la primera mitad de $F(u)$ necesita la evaluación de las dos transformadas, de $N/2$ puntos, dadas en las ecuaciones (2.5) y (2.6).

2.2 La FFT Inversa

Dadas las ecuaciones

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=1}^{N-1} f(x) e^{-j2\pi ux/N} \quad (2.11)$$

$$f(x) = \sum_{u=1}^{N-1} F(u) e^{j2\pi ux/N} \quad (2.12)$$

Tomando el complejo conjugado de la ecuación (2.12) y dividiendo ambos términos con N se obtiene:

$$\frac{1}{N} f^*(x) = \sum_{u=1}^{N-1} F^*(u) e^{-2\pi i ux/N} \quad (2.13)$$

3. CONSTRUCCION DEL SISTEMA PROPUESTO

Para la construcción del sistema se propone realizar los siguientes pasos:

3.1 Tratamiento de los Datos

a) Reordenación de los datos para aplicar sucesivamente la descomposición de la TFD en su parte par e impar

```

i=3:
x[0]x[1]x[2]x[3]x[4]x[5]x[6]x[7]
      / \
i=2:
x[0]x[2]x[4]x[6]  x[1]x[3]x[5]x[7]
      / \      / \
i=1:
x[0]x[4]  x[2]x[6]  x[1]x[5]  x[3]x[7]
      / \      / \      / \
i=0:
x[0] x[4] x[2] x[6]  x[1] x[5] x[3] x[7]
    
```

b) Reordenación de los $N=2^n$ datos invirtiendo el orden de los n bits que dan el índice de cada dato. (Ver Tabla 1)

- TFD de un sólo dato es él mismo: tras reordenar se tienen las $N = 2^n$ TFD's de partida, de un sólo punto cada una.

Tabla 1: Reordenación de la matriz para la FFT

Argumento Original	Matriz original	Argumento de inversión De bits	Matriz reordenada
0 0 0	f(0)	0 0 0	f(0)
0 0 1	f(1)	1 0 0	f(4)
0 1 0	f(2)	0 1 0	f(2)
0 1 1	f(3)	1 1 0	f(6)
1 0 0	f(4)	0 0 1	f(1)
1 0 1	f(5)	1 0 1	f(5)
1 1 0	f(6)	0 1 1	f(3)
1 1 1	f(7)	1 1 1	f(7)

El algoritmo utilizado para la reordenación de la matriz se resume de la siguiente manera:

1. Reordenar y precalcular W_n^k
 2. Bucle de $\log_2 N = n$ iteraciones (i)
- Bucle de cálculo de las 2^{n-i} TFD's de 2^i puntos correspondientes a iteración (i).
 - Bucle de $2^i/2$ iteraciones para calcular los 2^i puntos a partir de sus partes par e impar calculadas previamente, separados en dos mitades.

3.2. Instrumentos utilizados para la medición de la vibración

3.2.1 *Sensor de vibración:* Los transductores de vibración son empleados para medir la velocidad lineal, desplazamiento, proximidad, y también la aceleración de sistemas sometidos a vibración. En general, los transductores empleados en el análisis

de vibración, convierten la energía mecánica en energía eléctrica, lo que significa que producen una señal eléctrica la cual esta en función de la vibración. Se puede considerar al acelerómetro piezo-eléctrico como el transductor estándar para medición de vibración en máquinas.

3.2.2 *Acelerómetro piezoeléctrico:* La palabra piezo significa oprimir. Al aplicar presión a una cristal de cuarzo se establecen cargas eléctricas en este; esto se denomina el efecto piezoeléctrico, si se le aplica un campo eléctrico al cristal proporciona una deformación al material. Por lo tanto son utilizados para convertir energía eléctrica en energía mecánica y viceversa. Un actuador piezoeléctrico es un dispositivo que produce movimiento aprovechando el fenómeno físico de la piezoelectricidad. (Ver fig. 2)

Cuando se mueve el acelerómetro en la dirección arriba abajo, la fuerza que se requiere para mover la masa sísmica esta soportada por el elemento activo. Según la segunda ley de Newton, esa fuerza es proporcional a la aceleración de la masa. La fuerza sobre el cristal produce la señal de salida, que por consecuente es proporcional a la aceleración del transductor.

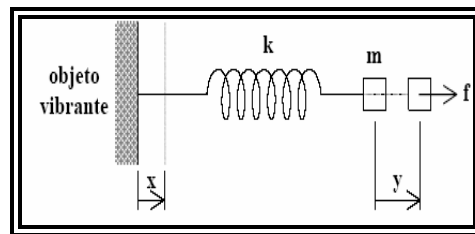


Fig. 1: Modelo físico sobre el cual se basa el funcionamiento de los acelerómetros integrados

La Figura 1 muestra un objeto vibrante cuya aceleración se desea medir. Sobre el mismo está montado el dispositivo de medición formado por una masa m y un resorte con constante elástica k .

Donde la masa (m) es la propiedad de un elemento de almacenar energía cinética de movimiento de traslación, la masa es análoga a la inductancia de circuitos eléctricos.

Si K es el peso $m = w / g$ donde g es la aceleración de caída libre del cuerpo debida a la gravedad.

Lo que se desea medir es la derivada segunda del desplazamiento del objeto vibrante, es decir:

$$a(t) = \frac{\partial^2 x(t)}{\partial t^2} \tag{3.1}$$

Entonces:

$$f(x) = ma(t) = m \frac{\partial^2 x(t)}{\partial t^2} = m \frac{\partial v(t)}{\partial t} \quad (3.2)$$

El resorte es el que almacena energía potencial y es análogo a un capacitor, por lo tanto el comportamiento del resorte con deformación es:

$$f(x) = kx(t) \quad (3.3)$$

Donde k es la constante del resorte o rigidez. La Ec. (3.2) indica que la fuerza que actúa sobre el resorte es directamente proporcional al desplazamiento del resorte. La fricción viscosa representa una fuerza que es una relación lineal entre la fuerza aplicada y la velocidad. La ecuación matemática que representa la fricción viscosa es:

$$f(t) = b \frac{\partial x(t)}{\partial t} \quad (3.4)$$

Donde b es el coeficiente de fricción viscosa.

Haciendo la sumatoria se tiene

$$f(t) = m \frac{\partial^2 x(t)}{\partial t^2} + b \frac{\partial x(t)}{\partial t} + kx(t) \quad (3.5)$$

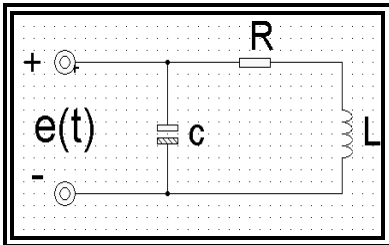


Fig. 2: Circuito eléctrico de un acelerómetro

3.3 Adquisición de datos

La adquisición de datos se hace por medio de la tarjeta de sonido, ella se encarga de convertir los datos analógicos que vienen del sensor de vibración en datos digitales, con un ADC (Convertor Analógico-Digital); efectivamente, cuando entran los datos desde una fuente externa; como el sensor de vibración, se transforman esos datos analógicos que llegan por el cable en muestras digitales que se almacenan en el disco duro y posteriormente se procesan esos datos para su fin.

Las tarjetas de sonido toman las muestras de sonido a 16 bits (aunque se llame SoundBlaster 128 PCI o MaxiSound 64). La tarjeta de sonido no trabajaba con más bits que su propio procesador (pero se trata del número de voces, que es algo completamente distinto). Esos bits vienen a definir la posición del altavoz.

Para emitir sonidos, los altavoces se mueven dando golpes. Estos golpes hacen que el aire que nos rodea vibre, y nuestros oídos captan esas vibraciones. Se debe indicar al altavoz dónde debe "golpear". Para ello simplemente se envía una posición (en este caso un número). Pues bien, cuantas más posiciones se puedan representar, mejor será el sonido. Y cuantos más bits se tengan, más posiciones se pueden representar. Por ejemplo para 16 bits tenemos 65536 posiciones.

Para llevar acabo la adquisición de datos por medio de la tarjeta de sonido, se trabaja con el *Toolbox* de Adquisición de Datos del programa Matlab®. A continuación, se presenta un ejemplo de una rutina para la obtención de datos:

```
al=analoginput('winsound'); %
addchannel(al,1);
al.samplerate=8000; %frecuencia
de muestreo
al.SamplesPerTrigger=8192;
al.triggertype='immediate';
start(al);
[d,t]=getdata(al); %
```

3.4 Análisis estadístico

Se realiza el análisis estadístico de los datos, calculando la media, varianza, la desviación típica y determinando la curva de distribución de los datos. Por ejemplo una pequeña falla en un rodamiento introducirá picos en la forma de onda de vibraciones y eso incrementará el nivel de las extremidades de la curva de distribución, como lo muestra la figura 3.

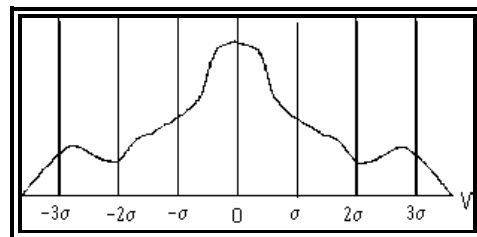


Fig.3: Distribución de amplitudes de un rodamiento gastado

4. FALLAS MAS COMUNES EN LAS MAQUINAS ROTATIVAS

Las fallas más comunes y de mayor impacto en máquinas rotativas son dos: desbalance y desalineamiento.

4.1 DESBALANCE: Cuando su centro de masa no coincide con su centro geométrico (ver Figura 5).

4.1.1 ESTÁTICO: Producido generalmente por desgaste radial superficial no uniforme en rotores en los cuales su largo es despreciable en comparación con su diámetro. El espectro presenta vibración dominante con una frecuencia igual a 1 X RPS del rotor.

4.1.2 DINÁMICO: El desbalance dinámico ocurre en rotores medianos y largos. Es debido principalmente a desgastes radiales y axiales simultáneos en la superficie del rotor. El espectro presenta vibración dominante y vaivén simultáneo a frecuencia igual a 1 X RPS del rotor.

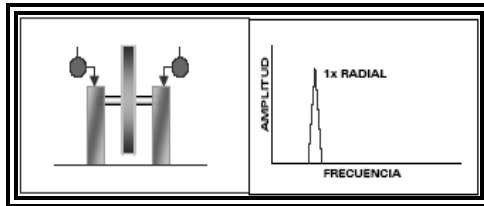


Fig. 5: Ejemplo del espectro de una máquina con desbalance

4.2 DESALINEAMIENTO: Cuando los ejes de la parte conductora (motriz) y conducida no tienen la misma línea de centros (Ver Figura 6).

4.2.1 ANGULAR: Ocurre cuando el eje del motor y el eje conducido unidos en el acople, no son paralelos. Caracterizado por altas vibraciones axiales. 1X RPS y 2X RPS son las más comunes, con desfase de 180 grados a través del acople. También se presenta 3X RPS. Estos síntomas también indican problemas en el acople.

4.2.2 PARALELA: Los ejes del motor y del rotor conducido están paralelos, pero no son colineales. Se pueden detectar altas vibraciones radiales a 2X RPS, predominante, y a 1X RPS, con desfase de 180 grados a través del acople. Cuando aumenta la severidad, genera picos en armónicos superiores (4X, 8X).

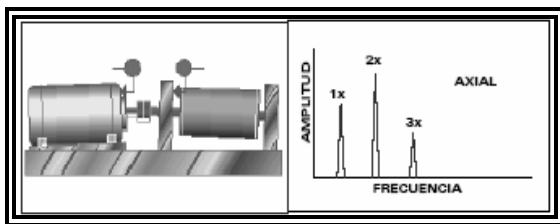


Fig. 6: Ejemplo del espectro de una máquina con desalineamiento

5. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE FALLAS EN MAQUINAS ROTATIVAS

En la figura 7, se muestra el diagrama de bloques del sistema. A continuación se describe cada uno de los bloques interno implementado.

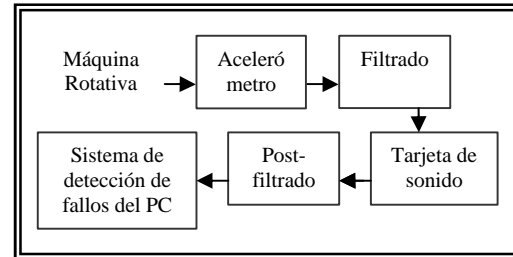


Fig. 7: Diagrama en bloques del sistema

5.1 Acelerómetro

Como fue explicado anteriormente, es el encargado de sensar las vibraciones de la máquina. Todas las máquinas tienen un nivel de vibraciones que puede ser considerado normal o inherente a su funcionamiento. Cuando este nivel aumenta y empieza a ser excesivo es normalmente el síntoma de la presencia de una falla.

Debido a la presencia de defectos localizados, se producen cambios abruptos en los esfuerzos de contacto en las interfaces.

5.2 Filtro activo

Es el encargado de atenuar el ruido inherente a las máquinas vecinas y a la frecuencia de CA:

Para normalizar se calcula el factor de paso:

$$As = fs / fc \quad (5.1)$$

Donde fs es la frecuencia correspondiente al principio de corte de la banda en este caso en de 60Hz, una atenuación correspondiente a 3dB y fc es la frecuencia de corte de la banda pasante en este caso la frecuencia de corte de la banda pasante es de 120Hz con una atenuación correspondiente a 30dB mínimo.

Según la tabla es un filtro de tercer orden, con una ecuación de transferencia:

$$T(s) = \frac{1}{s^3 + s^2 + s} = \frac{1}{s(s^2 + s + 1)} \quad (5.2)$$

5.3 Tarjeta de sonido

Para la adquisición de datos, se trabaja con una tarjeta de sonido, que tiene un rango de trabajo de 20Hz a 44,1kHz y tiene un conversor A/D de 16 bits, que es la frecuencia de audición, se van a adquirir datos a sensar la vibración de una máquina que trabaja en el orden de los KhZ, según el teorema de muestreo de Nyquist, que dice que $F_M > 2 F_{max}$, se halla la frecuencia de muestreo que por:

$$F_s > 2 KHz \quad (5.3)$$

5.4 Post-filtrado

Es un filtro digital, el que opera sobre una señal lineal cuantizada en amplitud y produce otra también cuantizada.

Implementación del filtro: Para hacer un filtro digital, lo primero que hay que es hacer los cálculos para un filtro análogo, con un filtro Butterworth pasa bajas, con una atenuación de 40dB como mínimo a una frecuencia de 60Hz, entonces, según la tabla, da de orden 4, entonces se halla la frecuencia de muestreo El filtro tiene una frecuencia de corte de 60Hz, según el teorema de Nyquist $f_s > 2f_c$.

Cuya función de transferencia es:

$$G(s) = \frac{1}{s^3 + 2s^2 + 2s + 1} \quad (5.4)$$

Para implementar el filtro, Matlab® tiene una función $Y = \text{filter}(a,b,x)$, a es el numerador, b es el denominador y x es la secuencia de entrada.

5.5 Sistema de detección de fallos del PC

Para la detección de fallos se debe tener en cuenta:

- En general es deseable colocar el transductor de prueba lo más cerca posible del rodamiento, con metal sólido entre el rodamiento y el sensor.

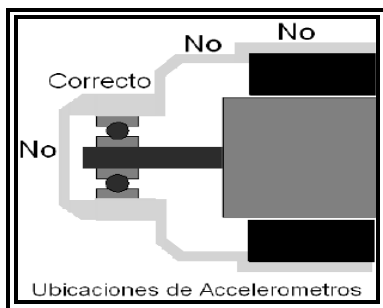


Fig. 8: Ubicación de los acelerómetros

- Orientación de los sensores de vibración: los datos deben ser recopilados de manera exactamente igual cada vez que se hace una medición. Eso para asegurar que los datos se pueda repetir y que se pueda establecer una tendencia en el tiempo.
- Mediciones triaxiales: Para ayudar en la determinación de problemas de máquinas es muy útil obtener datos de vibración de cada punto de medición en tres direcciones.
- Bloques De Montaje Para Sensores: El cojín de montaje cilíndrico o bloque es un disco de bronce con un agujero central cónico y un chavetero en la orilla, que recibe una clavija del transductor mismo. El transductor, que es sensible en el eje del tornillo de montaje es el canal 1, el eje en la dirección del chavetero es el canal 2 y el eje perpendicular a eso es el canal 3. El cojín normalmente está sujetado a la máquina con un adhesivo duro y fuerte como el adhesivo estructural Versiblok TM.
- Es muy importante ejecutar todas las series de mediciones en las mismas condiciones de operación de la máquina.
- La máquina debe estar en condiciones de operación normal, cuando se recopilan datos de vibración.
- Cuando se recopilan datos, las RPM de la prueba deben estar muy cerca de las RPM que se usaron en pruebas anteriores.

5.6 Comparación de espectros

- Se establece la base de datos del programa estructurando los parámetros de análisis que caracterizan al equipo monitor de la planta.
- Todos los sistemas de control de vibraciones tienen límites finitos en resolución; es decir, una determinada capacidad a la hora de mostrar gráficamente los componentes de frecuencia única que integran una señal de vibración de máquina.
- Límites de alarma: Los sistemas que usan límites alerta/alarma dinámicos basan su lógica en el hecho que el cambio de grado de amplitud o frecuencia de vibración es mas importante que el nivel real. estos limites, en algunas ocasiones los da el fabricante, si no los hay se basa de tablas internacionales de limites de operación, y de consultas con analistas.
- La elaboración de tendencias consiste en almacenar las firmas de grabación grabadas a tiempos específicos y de guardar los cambios en los niveles de vibración a las frecuencias forzadas vs. tiempo.

- El espectro de referencia: Se debe estar seguro que el espectro de referencia con que se van a comparar los datos de pruebas posteriores sea realmente representativo de la máquina. Este espectro de referencia, se halla en la base de datos del software, junto con los patrones de fallas de desalineamiento y desbalance.
- Se debe realizar el promedio de varios espectros de la máquina.
- Frecuencias forzadas: El valor del análisis de las vibraciones de maquinaria está basado en el hecho que elementos específicos en las partes rotativas de cualquier máquina producirán fuerzas en la máquina que causarán vibraciones a frecuencias específicas.
- Normalización del orden: Los espectros normalizados tienen los picos en los mismos órdenes prueba tras prueba, y puede hacer los promedios sin que haya dispersión.
- La existencia de otras frecuencias que las frecuencias forzadas tales como los armónicos de 1x, en la firma de vibración de la máquina indica una no linealidad y la magnitud combinada de esas frecuencias nuevas es un buen indicador del estado de salud general de la máquina.

Teniendo en cuenta los parámetros anteriores, se procede hacer el análisis estadístico, en la base de datos del software, se encuentran archivos numéricos, de las últimas mediciones que se han hecho en la máquina, y se encuentra el espectro de referencia y los patrones con fallas. A medida de que se van a desarrollar fallas en las máquinas, las curvas de distribución cambian de forma.

Para hallar el error, se resta, la magnitud y la fase del espectro de referencia con el espectro de entrada.

	Magnitud del Espectro de referencia	Magnitud del espectro que esta entrando
1	27.531	57.897
2	-5.4386	11.816
3	-8.3965	5.7803
4	-8.9693	11.82
5	2.0213	4.2777
6	-4.7709	1.5153
7	-0.66016	11.032
8	4.3039	10.007
9	4.9688	-6.9781
10	6.074	3.1465
11	9.7797	-7.0514
12	16.274	11.054
13	53.189	2.19
14	17.021	-0.77193
15	10.393	6.6151
16	8.0292	10.005
17	5.2652	3.9845
18	4.1812	9.8816
19	2.6071	7.2351

Fig. 9: Archivo numérico con el espectro de referencia y un espectro en buen estado

Del resultado se halla la curva de distribución, la desviación típica (Ver figura 10). Estas medidas de centralización, tienen un límite de funcionamiento.

Cuando los archivos numéricos exceden estos valores, habrá una indicación de que algo está fallando. (Ver Figura 9)

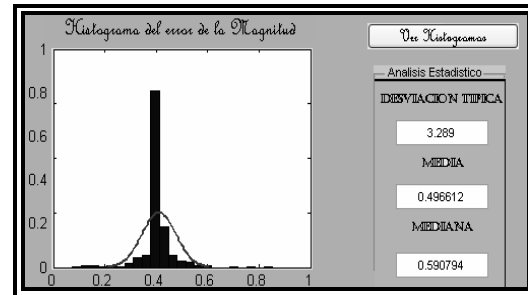


Fig.10: Curva normal de la magnitud del espectro en buen estado

Se procede a sacar el error con los patrones de fallas más comunes como son el desalineamiento y el desbalance (ver tabla 2), teniendo en cuenta los picos y la amplitud de los mismos, que se halla en la base de datos. Si las medidas, no están dentro del rango de error, de desbalance, desalineamiento y tampoco dentro del margen de buen estado, estará indicando que hay fallos, pero no se sabe de que puede ser.

Tabla 2: Reconocimiento entre desbalance y desalineamiento

DESBALANCE	DESALINEAMIENTO
PICO IMPORTANTE EN 1XRPM	IMPORTANTES ARMONICAS DE 1XRPM
VIBRACIONES AXIALES BAJAS	ALTAS VIBRACIONES AXIALES
MEDICIONES EN FASE	MEDICIONES EN CONTRAFASE
INDEPENDIENTE DE LA TEMPERATURA	LAS VIBRACIONES CAMBIAN CON EL AUMENTO DE LA TEMPERATURA
DEPENDIENE DE LA VELOCIDAD DEBIDO A LA FUERZA CENTRÍFUGA	BAJA SENSIBILIDAD A LOS CAMBIOS DE VELOCIDAD

5.7 Hardware

El microcontrolador 16F877A es el encargado de emular el sensor de vibración,; emula señales senosoidales a diferentes frecuencias y periódicas; contiene varias tablas, que fueron, reconstruidas de archivos numéricos que se recogieron de una máquina.

Tiene tres interruptores, por el puerto b, RB4 emula una señal de vibración con desalineamiento y se enciende el led de RA1, RB5 emula una señal de vibración con desbalance, enciende el led de RA1, y RB6 emula una señal de vibración, cuya amplitud y frecuencia es una indicación de mal funcionamiento, y enciende el led de RA2.

Por RB1, se genera la señal, por modulación de ancho de pulso, Para esta aplicación, la salida de la modulación por ancho del pulso se convierte en una salida análoga. La conversión de PWM a una forma de onda análoga involucra el uso de un filtro análogo pasabajo.

El ancho del pulso es directamente proporcional a la amplitud de la señal original. En otras palabras, en una señal PWM, la frecuencia de la forma de onda es constante, mientras el ciclo útil varía (de 0% al 100%) según la amplitud de la señal original. Después viene un filtro activo pasabajo, de tercer orden, y por último, viene el conector del plus, que va a la tarjeta de sonido.

5.8 Software

Se diseñó una interfaz para determinar el diagnóstico del estado de la máquina, utilizando Matlab®. En la ventana como se muestra en la Fig. 11 empieza la adquisición de datos.

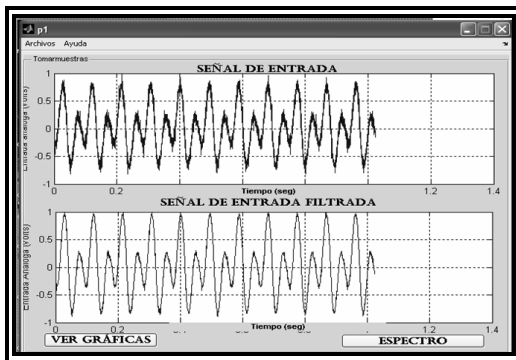


Fig. 11: Ventana de toma de muestras

En ventana de la Fig. 12. se muestra la magnitud y la fase del espectro entrada del sistema.

En la ventana de la figura 13, se encuentra la detección de fallos, según el análisis estadístico, aparece una indicación.

En la ventana de la figura 14, contiene el diagnóstico y la curva de frecuencias de la fase los espectros y sus medidas, con respecto a los patrones de referencia que se hallan en la base de datos.

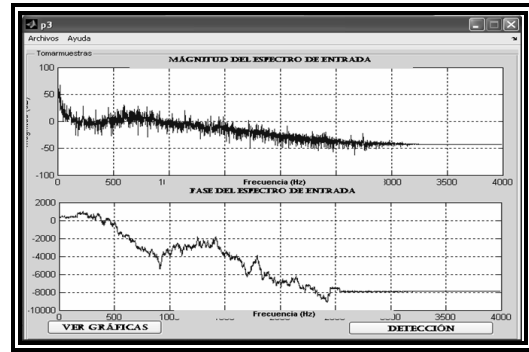


Fig. 12: Magnitud y fase del espectro de entrada

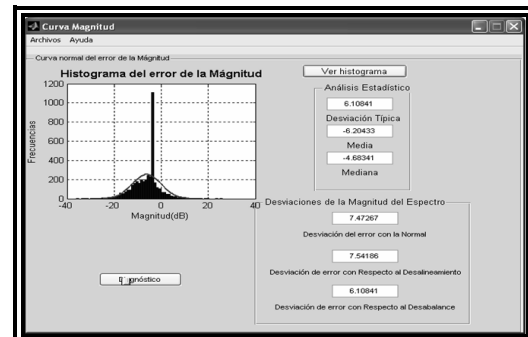


Fig. 13: Curva característica de la señal de error de la magnitud.

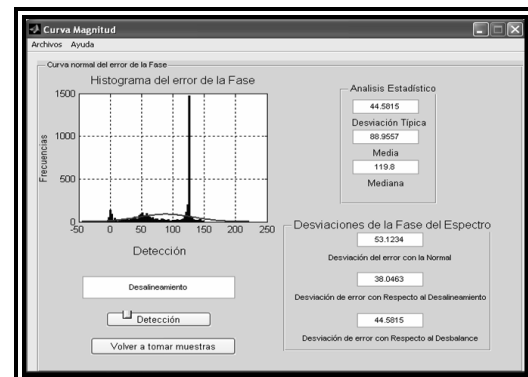


Fig. 14: Diagnóstico del estado de la máquina.

6. CONCLUSIONES

Es importante destacar que en general los gastos de mantenimiento representan entre un 15 y un 40% de los costos totales de producción tanto en industrias manufactureras como de procesos, y que resulta posible obtener disminuciones de entre el 20 y 50% de esos costos de mantenimiento trabajando con inteligencia: sin comprar partes innecesarias, aumentando la vida útil de las maquinarias

La Transformada Rápida de Fourier permite detectar y diagnosticar la condición de la máquina.

El análisis espectral es una excelente herramienta para el monitoreo y detección de fallas incipientes en las máquinas, puesto que una señal en frecuencias tiene menos información y es más preciso.

Utilizando el análisis de vibraciones es factible detectar y diagnosticar el estado de la condición mecánica de las máquinas rotativas, considerados como elementos fundamentales para su buen desempeño.

En la etapa de medición de la vibración, se deben encaminar grandes esfuerzos hacia el mejoramiento de la razón señal-ruido, con el fin de obtener la información más confiable para el análisis y poder lograr así diagnósticos cada vez más acertados.

REFERENCIAS

- Dunia, R. S., J. Qin, T. F. Edgar and T. J. McAvoy, Identification of Faulty Sensor Using Principal Component Analysis, *AIChE Journal*, Vol. 42, No. 10, pp. 2797-2812, 1996.
- Gertler, J. *Diagnóstico de Fallas Basados en Modelos, Teoría de Control y Tecnología Avanzada*. 1993.
- Lewin, D. R. Predictive Maintenance Using PCA. *Control Engineering Practice*, Vol. 3, No.3, pp. 415 -421, 1995.
- Proakis J.; Manolaski, D. *Tratamiento Digital de Señales*. 3ra Edición, Prentice Hall.
- Reyes, F. *Ingeniería y construcción de un sistema de detección de fallas para máquinas rotativas industriales basado en el método de análisis espectral*. Trabajo de grado. Universidad de Pamplona, Colombia (2005).
- Saavedra, P. *Análisis de vibraciones nivel II. Facultad de Ingeniería*. Universidad de Concepción. Chile (1997).
- Saavedra, P.; Estupiñán, E. Impacto del Mantenimiento Proactivo en la Productividad. 1er Congreso Peruano de Mantenimiento, Mayo del 2001.
- Tsai, T. C. Wang, Y. Z. Vibration Analysis and Diagnosis of a crack shaft. *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 192(3), pp. 607-620 (1992).
- Tuckey T. W. *An Introduction to the Measurement of Spectra, in Probability and Statistics*. pp. 300-330, U. Grenander, Ed. New York, NY: Wiley.