



Universidad Carlos III de Madrid

MÉTODO *SHOCK PULSE* PARA DETECCIÓN DE DEFECTOS EN RODAMIENTOS

Autor: Jaime González Rodríguez
Tutor: Cristina Castejón Sisamón



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. DESARROLLO
3. RESULTADOS: TÉCNICAS ESPECTRALES PARA DETECCIÓN DE DEFECTOS
4. RESULTADOS: MÉTODO SHOCK PULSE
5. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS



ÍNDICE

1. **INTRODUCCIÓN**
2. MARCO TEÓRICO
3. DESARROLLO
4. RESULTADOS: TÉCNICAS ESPECTRALES PARA DETECCIÓN DE DEFECTOS
5. RESULTADOS: MÉTODO SHOCK PULSE
6. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS



INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

Mantenimiento

- Correctivo
- Preventivo
- Predictivo





INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS DETECCIÓN DE DEFECTOS

RESULTADOS MÉTODO SHOCK PULSE

CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

Defectos distribuidos

Defectos localizados

- Defecto en bola

$$BSF = F_s \frac{P_b}{2B_d} \left(1 - \frac{B_d^2}{P_d^2} \cos^2 \phi \right)$$

- Defecto en la pista interna

$$BPFI = F_s \frac{N_b}{2} \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \phi \right)$$

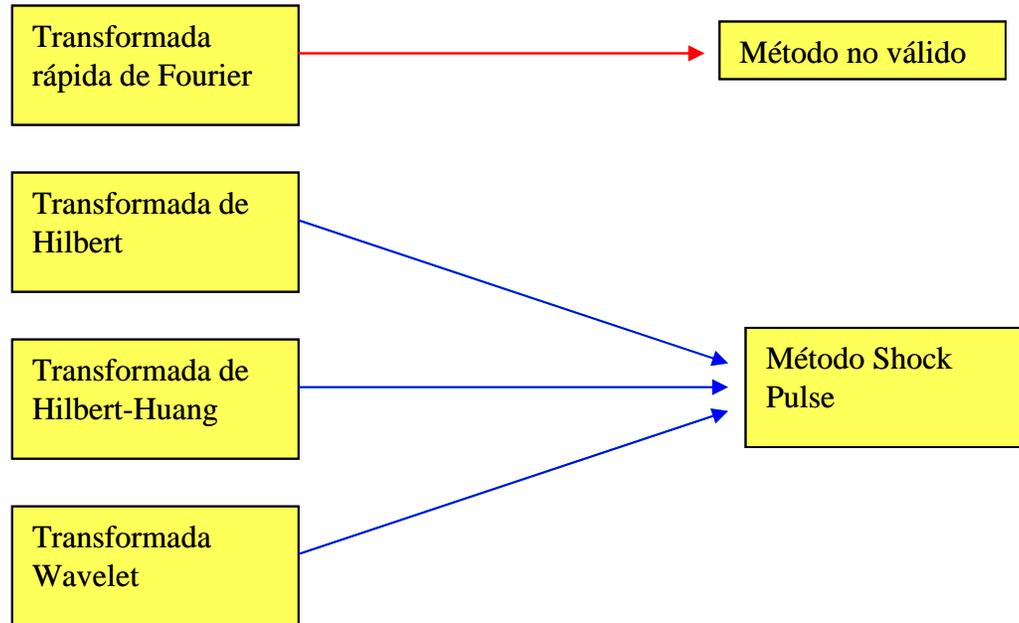
- Defecto en la pista externa

$$BPFO = F_s \frac{N_b}{2} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \phi \right)$$





ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO





ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. **MARCO TEÓRICO**
3. DESARROLLO
4. RESULTADOS: TÉCNICAS ESPECTRALES PARA DETECCIÓN DE DEFECTOS
5. RESULTADOS: MÉTODO SHOCK PULSE
6. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS



TRANSFORMADA DE FOURIER

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

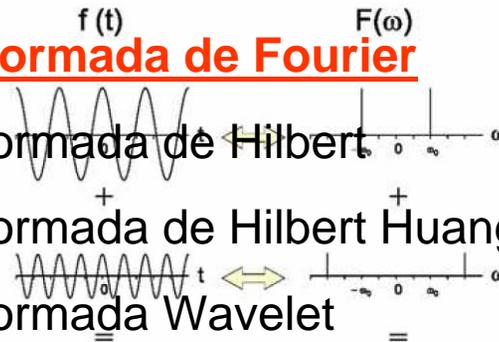
Técnicas de procesamiento de señales estacionarias

• Transformada de Fourier

• Transformada de Hilbert

• Transformada de Hilbert Huang

• Transformada Wavelet



Método de clasificación

• Método shock pulse

Señales no estacionarias





TRANSFORMADA DE HILBERT

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

La transformada de Hilbert de una señal x se define como:
Técnicas de procesamiento

- Transformada de Fourier $X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt$
 $Y(f) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x(u)}{t-u} du$

- **Transformada de Hilbert**

La envolvente de dicha señal, con la que trabajamos es de Hilbert con el uso de:
Transformada de Hilbert con el uso de:

- Transformada Wavelet $z(t) = x(t) + jy(t) = a(t)e^{j\theta(t)}$

Donde el módulo y la fase son:
Método de clasificación

- Método shock pulse $a(t) = \sqrt{x^2(t) + y^2(t)}$

$$\theta(t) = \arctg\left(\frac{y(t)}{x(t)}\right)$$

Para obtener la frecuencia instantánea bastará con derivar el ángulo con respecto al tiempo



TRANSFORMADA DE HILBERT-HUANG

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

Técnicas de procesamiento

Método adaptativo → La definición de la base es dependiente de los datos

- Transformada de Fourier
- Descomposición modal empírica
- Transformada de Hilbert

Aplicando repetidas veces un procedimiento conocido como *shifting process* se obtienen

• Transformada de Hilbert Huang

- Transformadas Wavelet
funciones Wavelet intrínsecas, que tienen dos propiedades:

Método de clasificación

✓ El número de extremos relativos y ceros de la función debe ser igual

- Método shock pulse

✓ En cualquier punto, el valor medio de las envolventes generadas por los máximos y los mínimos debe ser 0.

- Transformada de Hilbert



DESCOMPOSICIÓN MODAL EMPÍRICA

INTRODUCCIÓN

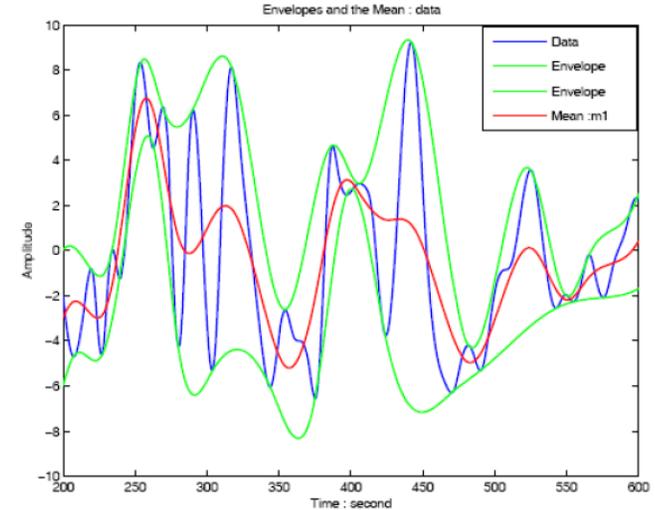
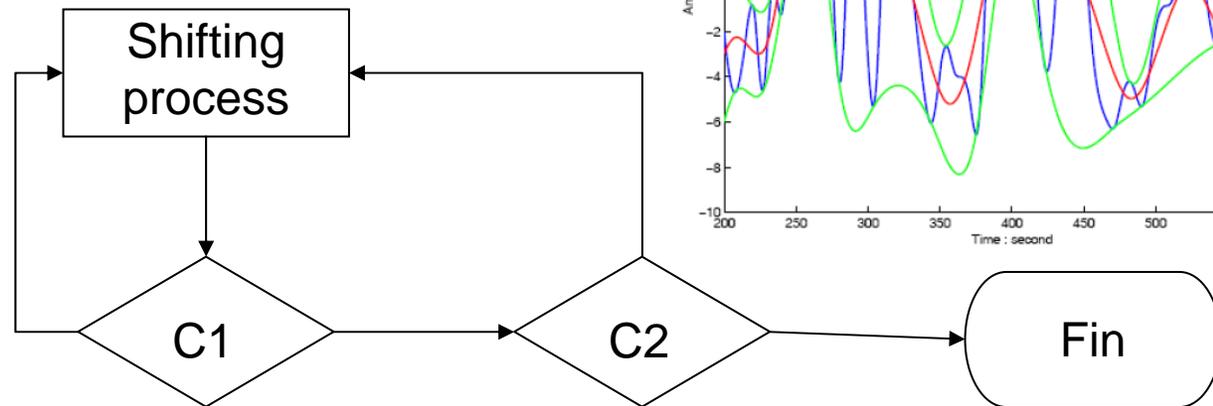
MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS



Condición 1 —————> Se para cuando el número de extremos y ceros no difiere en más de uno un número prefijado de veces

Condición 2 —————> Se para cuando hay monotonía en los residuos o cuando estos tengan un valor muy pequeño



TRANSFORMADA WAVELET

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

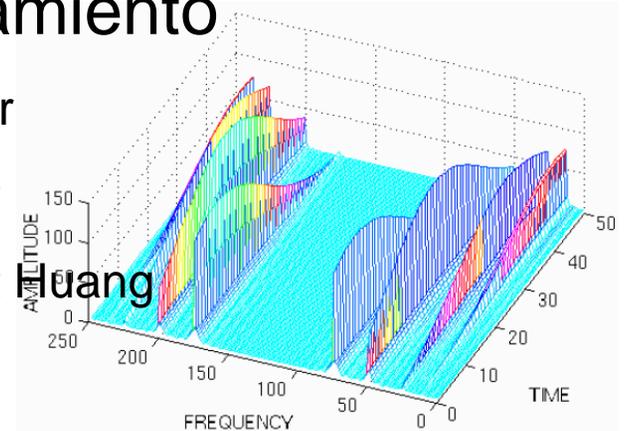
DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

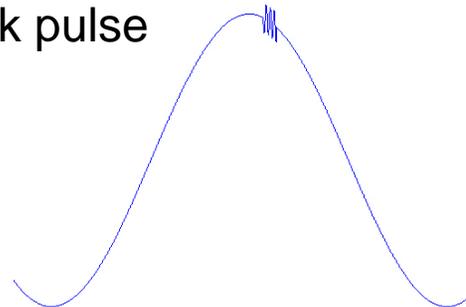
Short Term Fourier Transform → Intervalos fijos
Técnicas de procesamiento



Método de clasificación

Transformada Wavelet → Resolución Variable

- Método shock pulse





ESQUEMA DE *LIFTING*

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

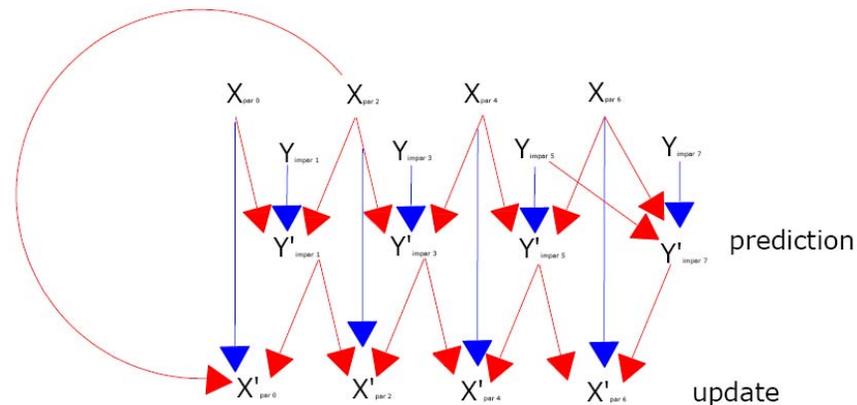
CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

- Algoritmo para generar Wavelets biortogonales
- Introducido por Sweldens en 1996
- Tres pasos:

I. División

II. Predicción

III. Actualización





ESQUEMA DE *LIFTING*

INTRODUCCIÓN

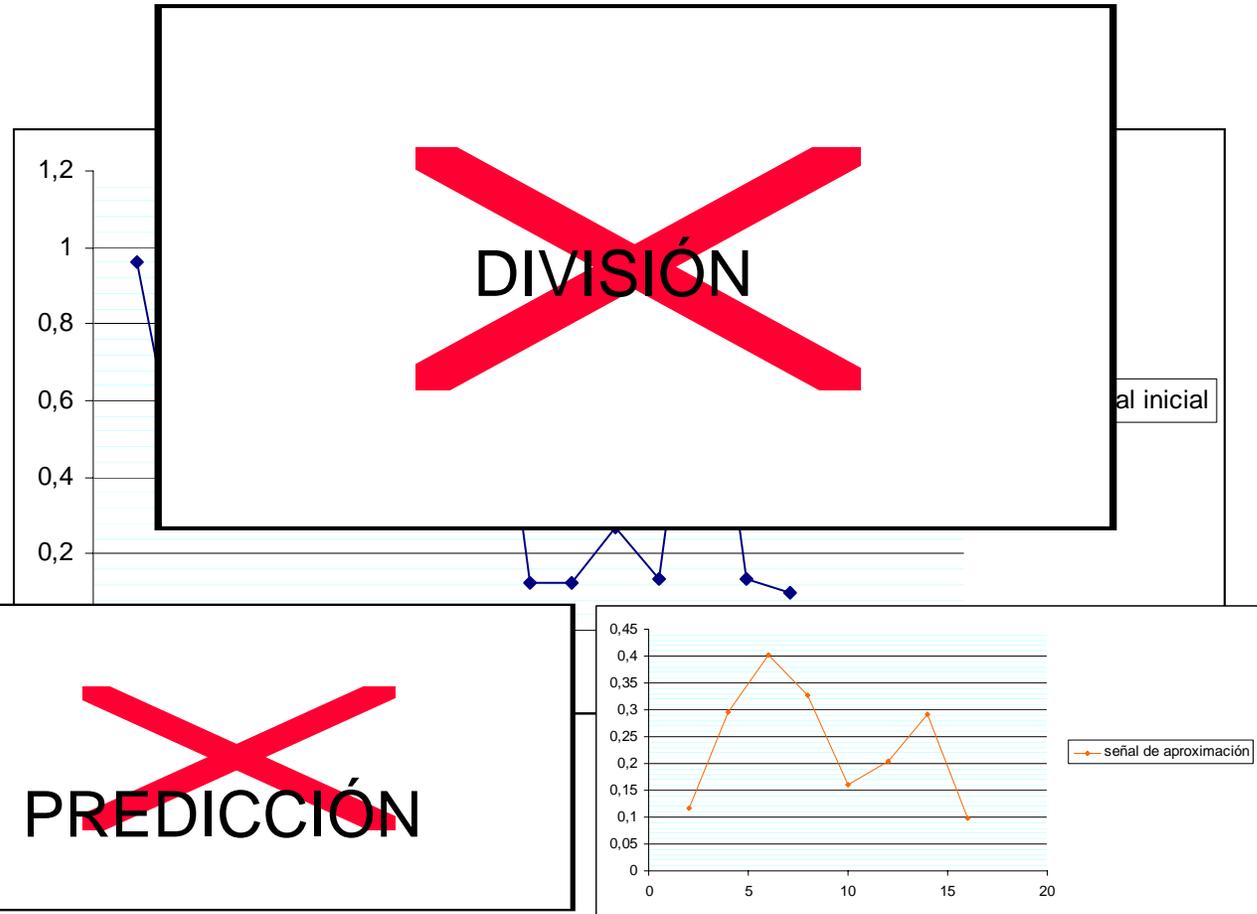
MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS





ESQUEMA DE *LIFTING* REDUNDANTE

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

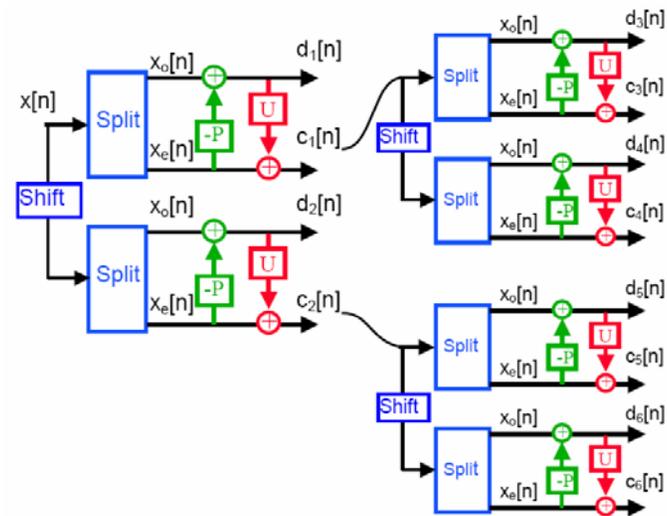
RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

Asegura la estabilidad temporal

Diferentes algoritmos

Se ha utilizado el algoritmo *cycle spinning*





MÉTODO *SHOCK PULSE*

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

Desarrollado por AB SPM INSTRUMENT en Suecia
a partir de 1979

- Técnicas de procesamiento
- Transformada de Fourier
 - Transformada de Hilbert
 - Transformada de Hilbert Huang
 - Transformada Wavelet
- Se basa en el hecho de que cuando una bola contacta con una zona dañada se emite un pulso de choque
- Se calcula un valor normalizado en una escala dB que nos da una idea de si el rodamiento presenta algún fallo

Método de clasificación

• Método shock pulse

- | | | |
|-------------------|------------------------------------|---|
| $0 \leq dB < 20$ | <i>Rodamiento correcto</i> | } |
| $20 \leq dB < 35$ | <i>Rodamiento con falta leve</i> | |
| $35 \leq dB < 60$ | <i>Rodamiento con falta severa</i> | |



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. MARCO TEÓRICO
3. **DESARROLLO**
4. RESULTADOS: TÉCNICAS ESPECTRALES PARA DETECCIÓN DE DEFECTOS
5. RESULTADOS: MÉTODO SHOCK PULSE
6. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS



OBTENCIÓN DE DATOS

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

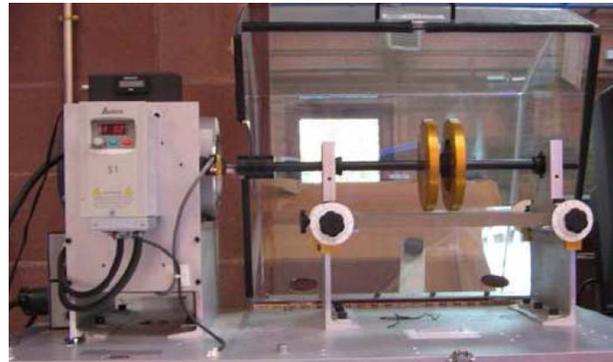
DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

- Obtenidos en un trabajo dirigido de la Universidad Carlos III de Madrid realizado por Iván Martínez
- Rodamientos *ER10K* de *MB Manufacturing*
- Frecuencia de muestreo: 5000 Hz





MATLAB

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

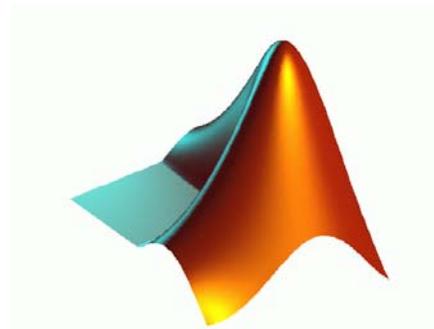
RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

Programas y scripts realizados en Matlab ®

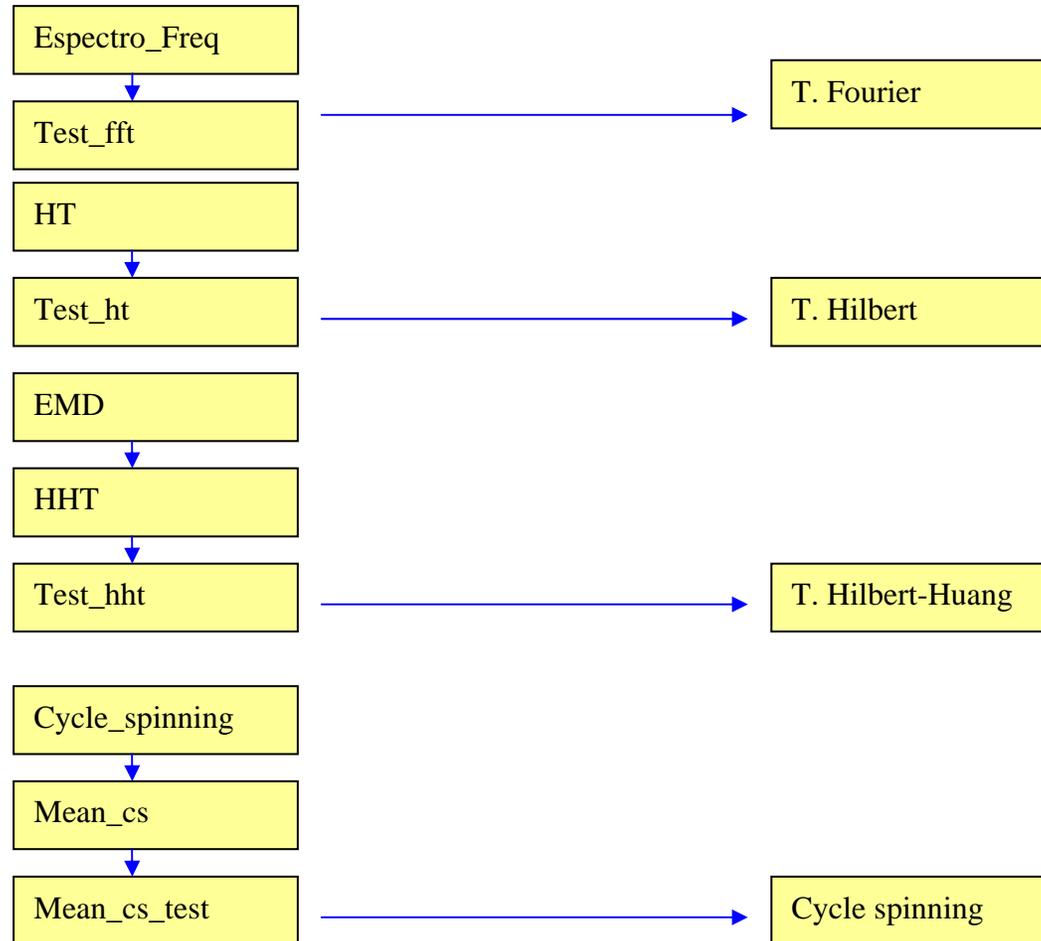
- Herramienta muy utilizada en el mundo de la ingeniería
- Dispone de una enorme gama de librerías
- Programación a alto nivel
- Programación matricial, no es muy rápido en algoritmos con bucles muy repetitivos





DETECCIÓN DE DEFECTOS

- INTRODUCCIÓN
- MARCO TEÓRICO
- DESARROLLO**
- RESULTADOS DE DETECCIÓN DE DEFECTOS
- RESULTADOS MÉTODO SHOCK PULSE
- CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS





MÉTODO *SHOCK PULSE*

INTRODUCCIÓN

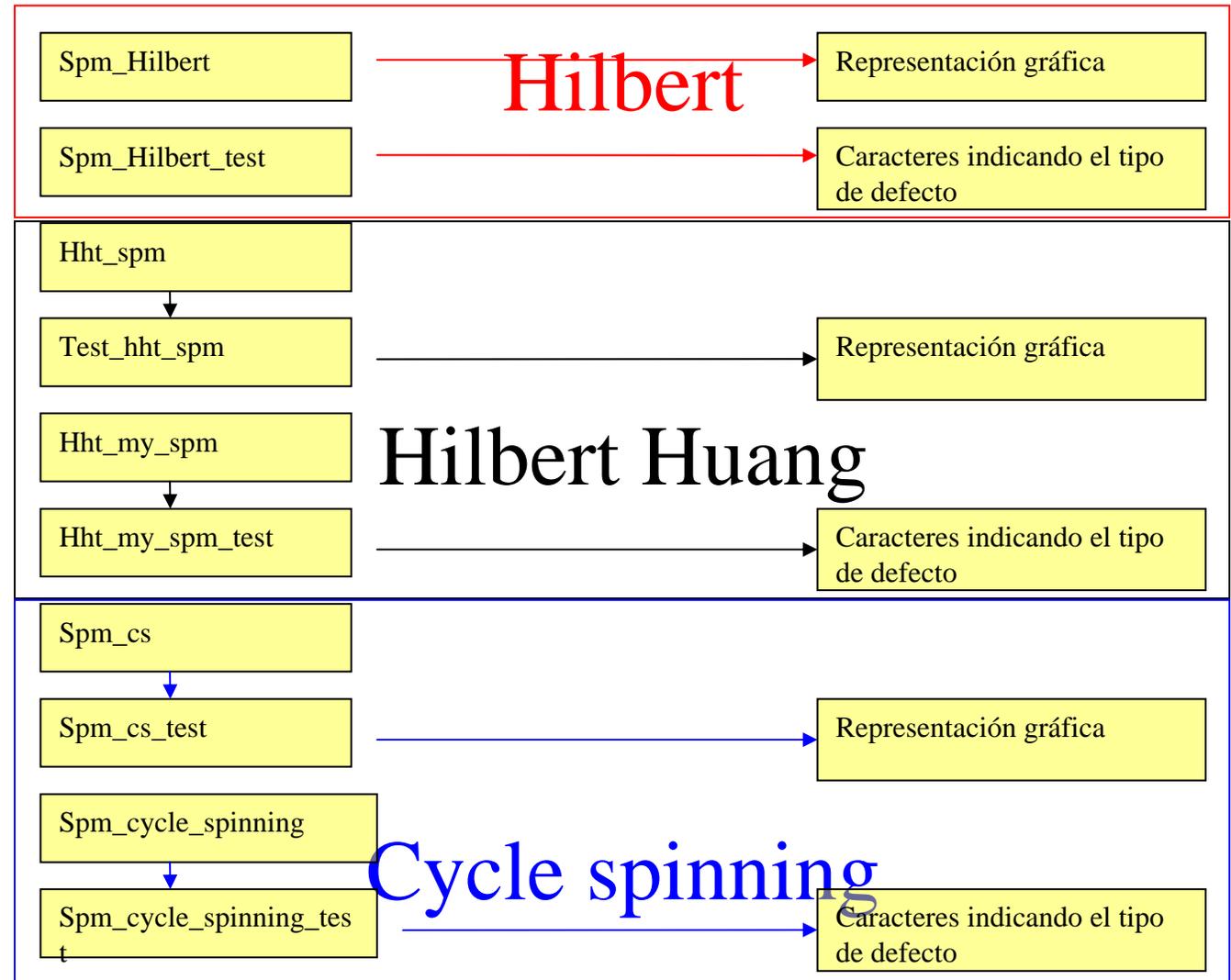
MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS





ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. MARCO TEÓRICO
3. DESARROLLO
4. **RESULTADOS: TÉCNICAS ESPECTRALES PARA DETECCIÓN DE DEFECTOS**
5. RESULTADOS: MÉTODO SHOCK PULSE
6. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS



DETECCIÓN DE DEFECTOS: TRANSFORMADA DE FOURIER

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

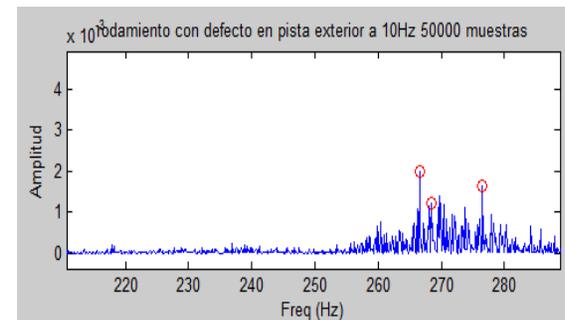
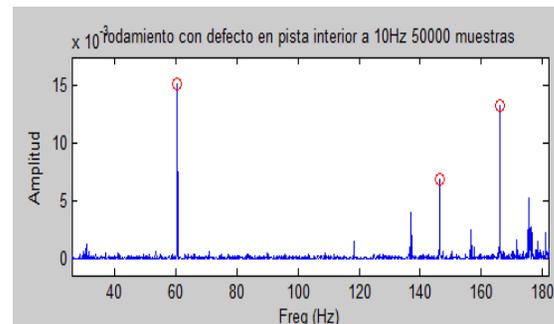
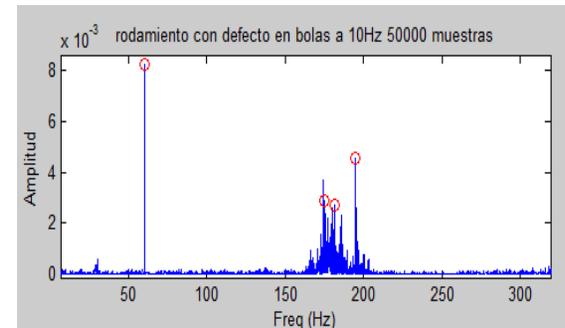
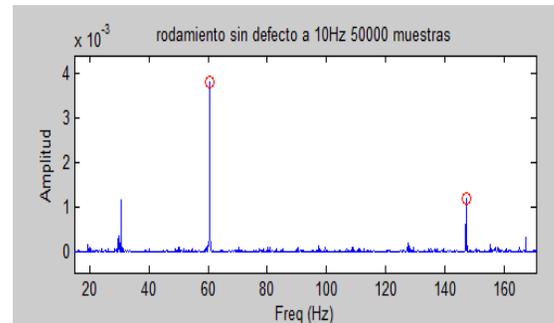
DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

- Ruido a alta frecuencia
- No identificamos frecuencia de giro o de defecto
- Pico de frecuencia en 60 Hz





DETECCIÓN DE DEFECTOS: TRANSFORMADA DE FOURIER

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

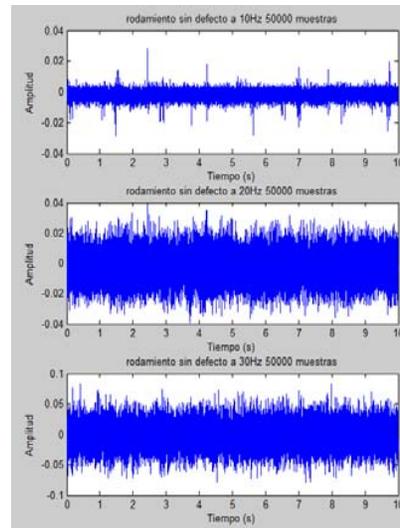
RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

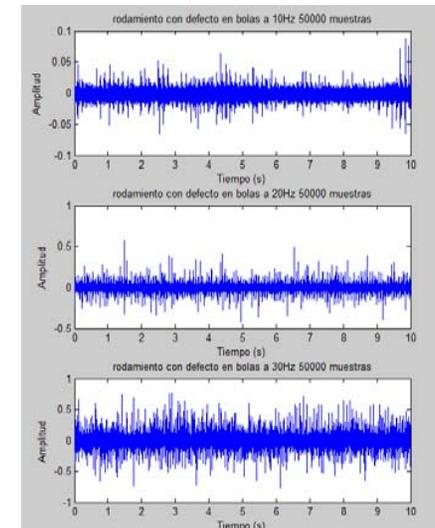
CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

- El ruido aumenta con la velocidad de giro
- Se puede distinguir si un rodamiento presenta defecto con sólo mirar la representación temporal de las señales

RODAMIENTO SIN DEFECTO



DEFECTO EN BOLA





DETECCIÓN DE DEFECTOS: TRANSFORMADA DE HILBERT

INTRODUCCIÓN

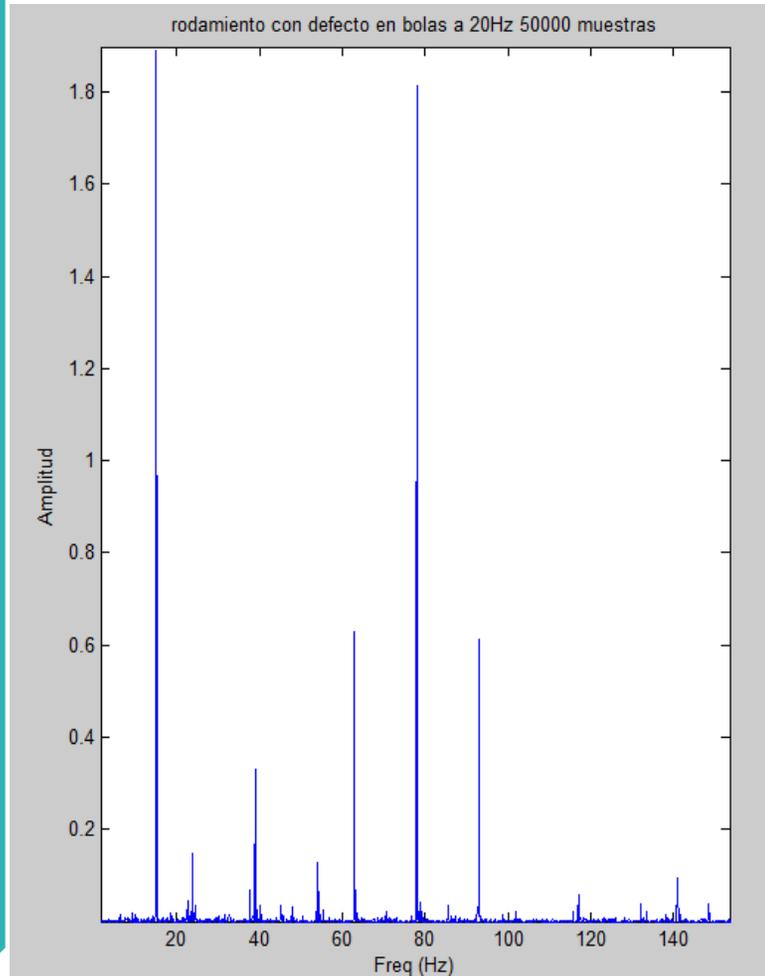
MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS



Rodamiento con defecto en bola

Frecuencia de giro	Frecuencia de defecto
10 Hz	19.91 Hz
20 Hz	38.82 Hz
30 Hz	59.73 Hz



DETECCIÓN DE DEFECTOS: TRANSFORMADA DE HILBERT

INTRODUCCIÓN

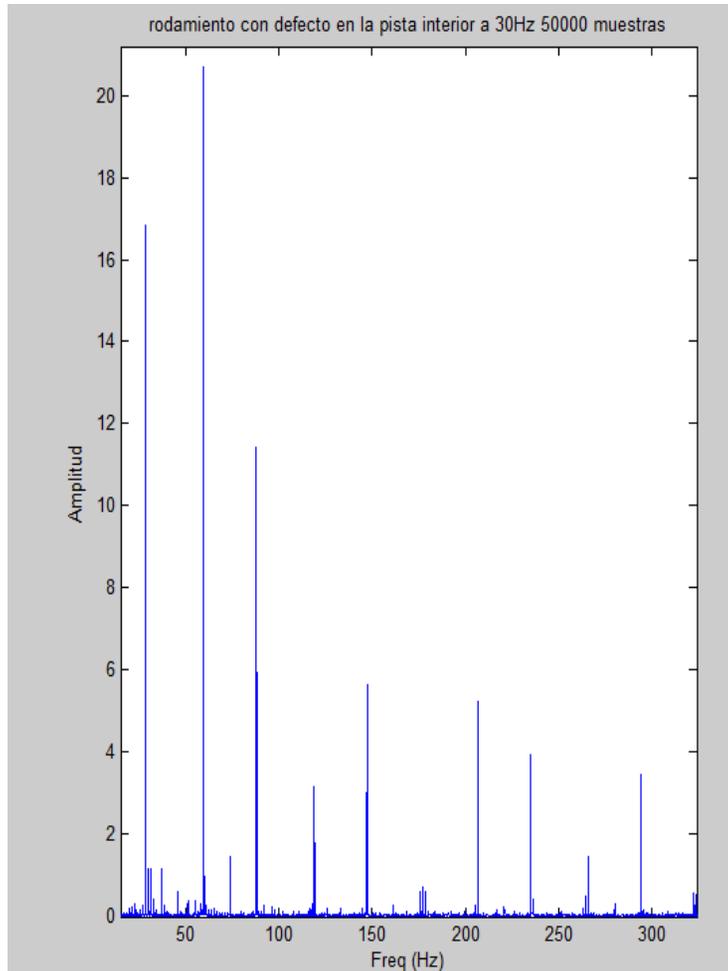
MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS



Rodamiento con defecto
en la pista externa

Frecuencia de giro	Frecuencia de defecto
10 Hz	30.52 Hz
20 Hz	61.04 Hz
30 Hz	91.56 Hz

Rodamiento con defecto
en la pista interna

Frecuencia de giro	Frecuencia de defecto
10 Hz	49.48 Hz
20 Hz	98.96 Hz
30 Hz	148.44 Hz



DETECCIÓN DE DEFECTOS: TRANSFORMADA DE HILBERT

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

- Se detecta muy bien el defecto en pista externa
- El rodamiento con defecto en pista interna presenta también picos de frecuencia correspondientes con la frecuencia de defecto en bola
- En el rodamiento con defecto en bola aparece también una frecuencia de defecto múltiplo de la frecuencia de giro de la jaula

Defecto	Frecuencia de giro	Frecuencia de defecto encontrada	Error	Amplitud	Amplitud máxima
BOLAS	10	19.7	1.069%	$1.3 \cdot 10^{-3}$	0.04
	20	39	2.106%	0.26	1.65
	30	59.2	0.899%	2.10	10.05
PISTA INTERNA	10	48.8	1.395%	0.09	0.165
	20	97.8	1.187%	1.41	6.95
	30	147.2	0.844%	5.66	22.79
PISTA EXTERNA	10	30.3	0.724%	$1.7 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
	20	60.5	0.891%	0.49	0.49
	30	90.7	0.946%	1.78	1.78



DETECCIÓN DE DEFECTOS: TRANSFORMADA DE HILBERT-HUANG

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

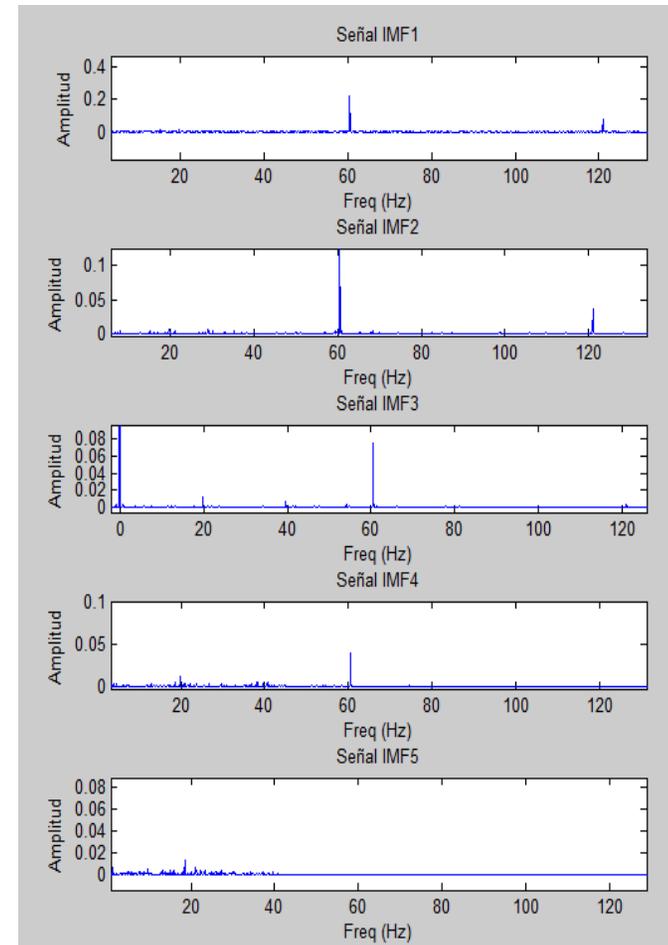
DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

- Se localizan las mismas frecuencias de defecto que con el método anterior
- El espectro es mucho más limpio
- La información importante se presenta en las primeras funciones modales intrínsecas
- En la figura se muestra el resultado para un rodamiento con defecto en la pista externa girando a 20 Hz





DETECCIÓN DE DEFECTOS: CYCLE SPINNING

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

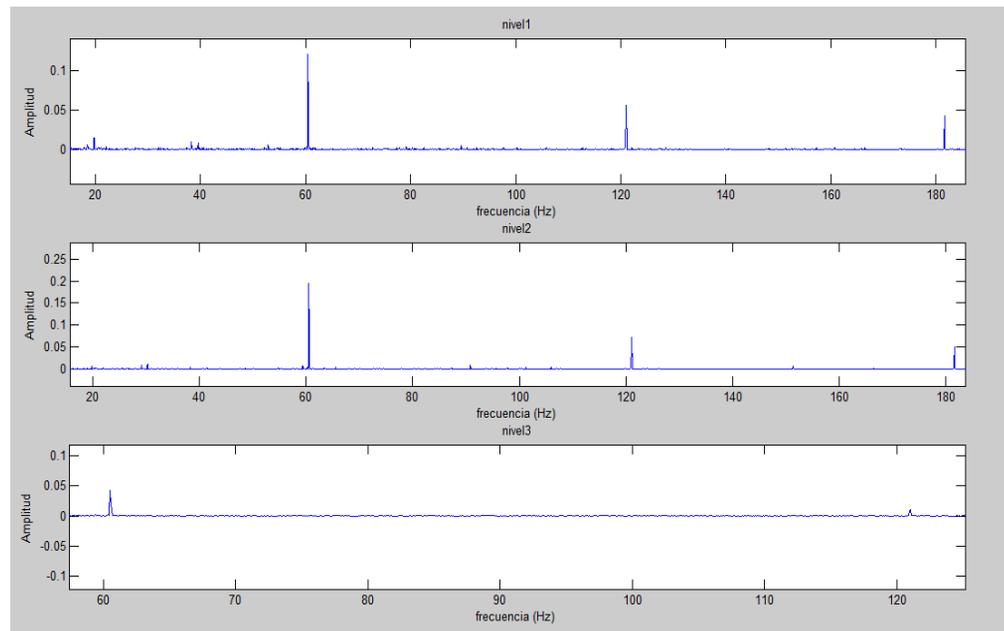
DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

- Los resultados vuelven a ser positivos
- Se han analizado 3 niveles de descomposición
- Se vuelve a mostrar como ejemplo la descomposición de un rodamiento con defecto en la pista externa girando a 20 Hz





ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. MARCO TEÓRICO
3. DESARROLLO
4. RESULTADOS: TÉCNICAS ESPECTRALES PARA DETECCIÓN DE DEFECTOS
5. **RESULTADOS: MÉTODO SHOCK PULSE**
6. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS



MÉTODO *SHOCK PULSE*

INTRODUCCIÓN

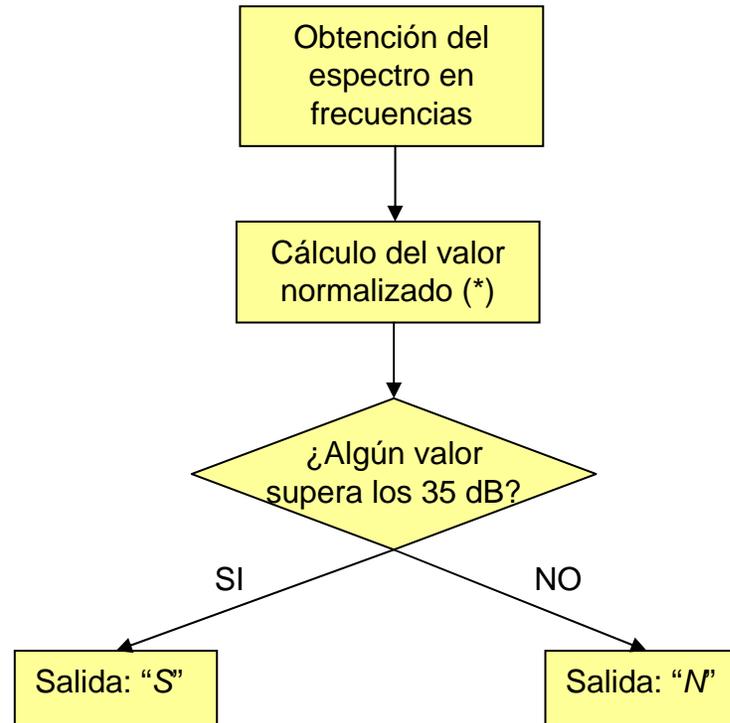
MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS



(*) Aplicando la ecuación
$$dB = 20 \cdot \log \frac{2000 \cdot SV}{N \cdot D^{0.6}} \quad (1)$$

(1) L.Zhen, H.Zhengjia, Z.Yanyang, C.Xuefeng: "Bearing condition monitoring based on shock pulse method and improved redundant lifting scheme". Artículo, Mathematics and Computers in simulation 79 (2008) p. 318–338.



MÉTODO *SHOCK PULSE*

INTRODUCCIÓN

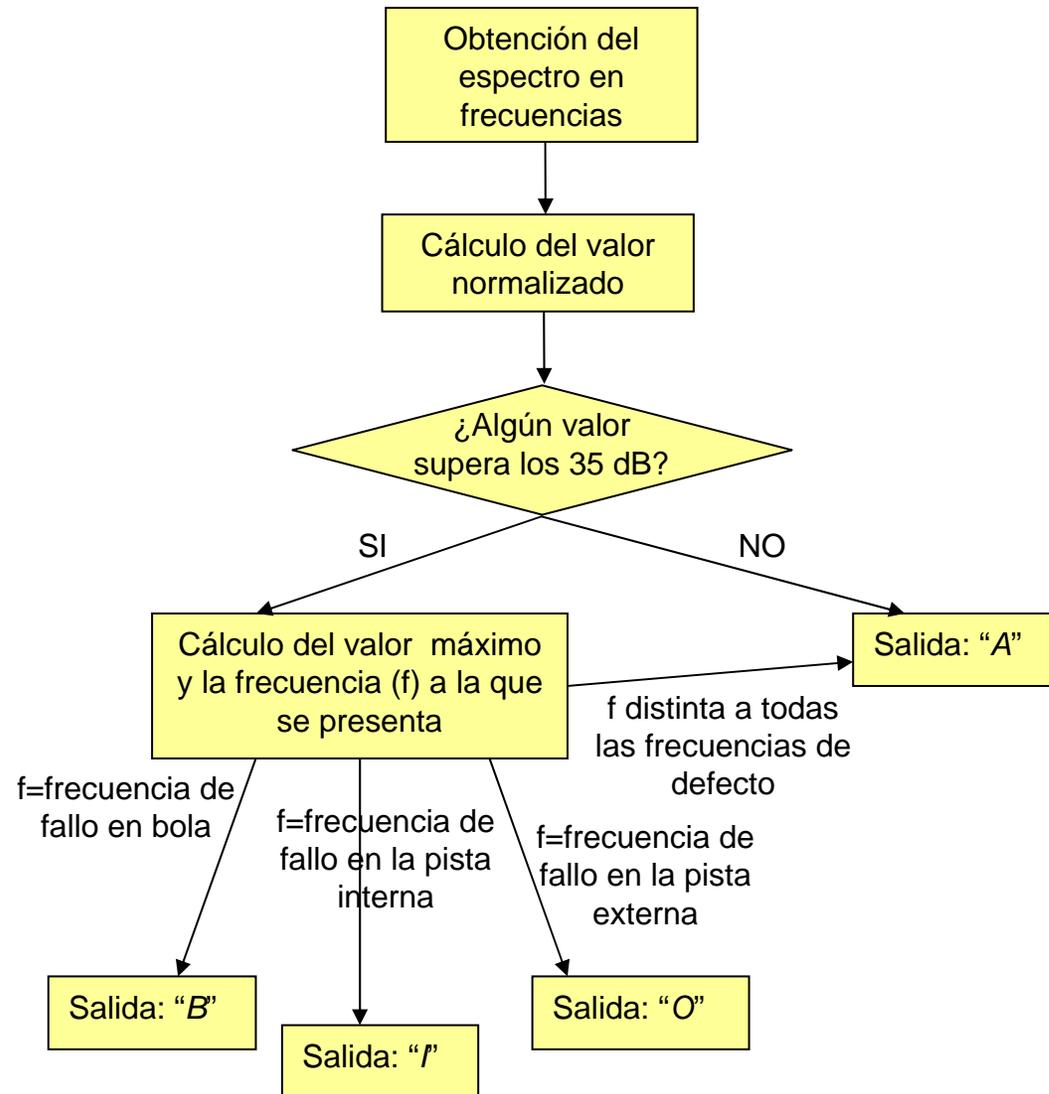
MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS





MÉTODO *SHOCK PULSE*: NUEVAS EXPRESIONES

INTRODUCCIÓN

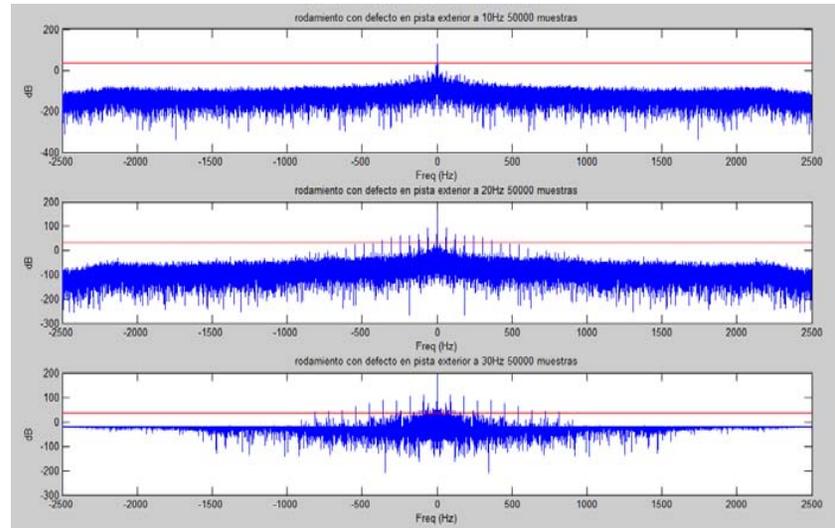
MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS



Se reajustan los coeficientes de la ecuación

$$dB = 20 \cdot \log\left(\frac{2000 \cdot SV}{D^{0.6} \cdot N}\right) \quad dB = 20 \cdot \log\left(\frac{a \cdot SV}{D \cdot N^b}\right)$$

No se puede calcular el exponente del diámetro porque no se dispone de datos con rodamientos cuyos diámetros sean diferentes



MÉTODO *SHOCK PULSE*: TRANSFORMADA DE HILBERT

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

Porcentajes de acierto identificando si el rodamiento presenta o no defecto

HT							
Número de muestras	5000	10000	15000	20000	25000	50000	Total
% acierto	80.00%	96.67%	95.00%	95.00%	100.00%	98.33%	94.17%

HT					
Tipo de rodamiento	Sin fallo	Fallo en bola	Fallo en la pista interna	Fallo en la pista externa	Total
% acierto	100.00%	90.00%	98.89%	87.78%	94.17%

Porcentajes de acierto identificando el tipo de defecto

HT					
Tipo de rodamiento	Sin fallo	Fallo en bola	Fallo en la pista interna	Fallo en la pista externa	Total
% acierto	100.00%	0.00%	0.00%	60.00%	40.00%



MÉTODO *SHOCK PULSE*: TRANSFORMADA DE HILBERT-HUANG

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

Porcentajes de acierto identificando si el rodamiento presenta o no defecto

HHT							
Número de muestras	5000	10000	15000	20000	25000	50000	Total
% acierto	88.33%	100.00%	96.67%	91.67%	98.33%	91.67%	94.44%

HHT					
Tipo de rodamiento	Sin fallo	Fallo en bola	Fallo en la pista interna	Fallo en la pista externa	Total
% acierto	86.67%	100.00%	100.00%	91.11%	94.44%

Porcentajes de acierto identificando el tipo de defecto

HHT					
Tipo de rodamiento	Sin fallo	Fallo en bola	Fallo en la pista interna	Fallo en la pista externa	Total
% acierto	86.67%	0.00%	0.00%	68.89%	38.89%



MÉTODO *SHOCK PULSE*: CYCLE SPINNING

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

Porcentajes de acierto identificando si el rodamiento presenta o no defecto

CS							
Número de muestras	5000	10000	15000	20000	25000	50000	Total
% acierto	90,00%	91,67%	91,67%	88,33%	90,00%	85,00%	89,44%

CS					
Tipo de rodamiento	Sin fallo	Fallo en bola	Fallo en la pista interna	Fallo en la pista externa	Total
% acierto	80,00%	100,00%	98,89%	78,89%	89,44%

Porcentajes de acierto identificando el tipo de defecto

CS					
Tipo de rodamiento	Sin fallo	Fallo en bola	Fallo en la pista interna	Fallo en la pista externa	Total
% acierto	100,00%	0,00%	0,00%	78,89%	44,72%



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. MARCO TEÓRICO
3. DESARROLLO
4. RESULTADOS: TÉCNICAS ESPECTRALES PARA DETECCIÓN DE DEFECTOS
5. RESULTADOS: MÉTODO SHOCK PULSE
6. **CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS**



CONCLUSIONES DETECCIÓN DE DEFECTOS

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

- Se puede distinguir con sólo observar la representación temporal un rodamiento defectuoso de uno en perfecto estado
- La transformada de Fourier no aporta información útil
- La transformada de Hilbert, la transformada Hilbert-Huang y la transformada Wavelet son buenos métodos de filtrado para posteriormente aplicar la transformada de Fourier y obtener el espectro en frecuencias



CONCLUSIONES MÉTODO SHOCK PULSE

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

- Ha sido necesario variar la expresión para el cálculo del valor normalizado en el método shock pulse, ya que la aportada en el artículo del que surge la idea de este proyecto no compensa correctamente las variaciones en la velocidad de giro
- En principio el método *shock pulse* no se aplica después de ningún tipo de descomposición, pero hemos visto que haciéndolo de este modo se alcanzan porcentajes de acierto cercanos al 90%
- El método no ha permitido determinar con la misma fiabilidad donde se encuentra el defecto, situándose el porcentaje de acierto en torno al 40%



FUTUROS DESARROLLOS

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

DESARROLLO

RESULTADOS
DETECCIÓN DE
DEFECTOS

RESULTADOS
MÉTODO SHOCK
PULSE

CONCLUSIONES
Y FUTUROS
DESARROLLOS

- Los algoritmos programados convergen relativamente bien, pero no lo suficiente como para automatizar un proceso de detección de defectos en tiempo real, se propone programar los mismos algoritmos en C para llevar a cabo dicha tarea
- Se propone la obtención de relaciones dependientes del diámetro para generalizar el método shock pulse a cualquier tipo de rodamiento
- Habría que trabajar más sobre el tema para mejorar el porcentaje de acierto a la hora de determinar la localización del defecto
- Se propone el desarrollo de una aplicación con un entorno gráfico para determinar directamente si un rodamiento presenta o no defecto



Universidad Carlos III de Madrid

MÉTODO *SHOCK PULSE* PARA DETECCIÓN DE DEFECTOS EN RODAMIENTOS

Autor: Jaime González Rodríguez
Tutor: Cristina Castejón Sisamón