



Universidad de Valladolid
Centro «Tordesillas»
de Relaciones con Iberoamérica

Centro Tordesillas de Relaciones con Iberoamérica
Valladolid, España
22 de Junio de 2016



Universidad de Valladolid
Centro «Tordesillas»
de Relaciones con Iberoamérica



Universidad de Valladolid



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
QUERÉTARO



Universidad
de Guanajuato

Encuentro UVA-UGto-UAQ

Aplicaciones del análisis espectral en ingeniería eléctrica

Centro Tordesillas de Relaciones con Iberoamérica

22 de Junio de 2016



Universidad de Valladolid
Centro «Tordesillas»
de Relaciones con Iberoamérica



Universidad de Valladolid



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
QUERÉTARO



Universidad
de Guanajuato

Ponentes:

Dr. Arturo García Pérez, Universidad de Guanajuato

“Aplicaciones del Análisis Espectral en la identificación de fallas en equipos y estructuras”

Gerardo Martínez Figueroa, Universidad de Guanajuato

“Detection of Power Quality Disturbances using the Bispectrum and the Spectral-Kurtosis”

Tomás García Calva, Universidad de Guanajuato

“Aplicación de muestreo no uniforme para detección de fallas en motores de inducción”

David Elvira Ortiz, Universidad Autónoma de Querétaro

“Monitoreo de calidad de la energía en sistemas de generación alternativa”

Dr. Daniel Moríñigo Sotelo, Universidad de Valladolid

“Análisis espectral de la corriente del estator para la detección de fallos en motores de inducción”



Universidad de Valladolid
Centro «Tordesillas»
de Relaciones con Iberoamérica



Universidad
de **Guanajuato**

Dr. Arturo García Pérez, Universidad de Guanajuato

“Aplicaciones del Análisis Espectral en la identificación de fallas en equipos y estructuras”

La visita del Dr. Arturo García ha sido financiada por la Universidad de Valladolid a través del programa de *“Ayudas para la estancia de investigadores de otras instituciones para la realización de actividades de formación doctoral”*.



Universidad de Valladolid
Centro «Tordesillas»
de Relaciones con Iberoamérica



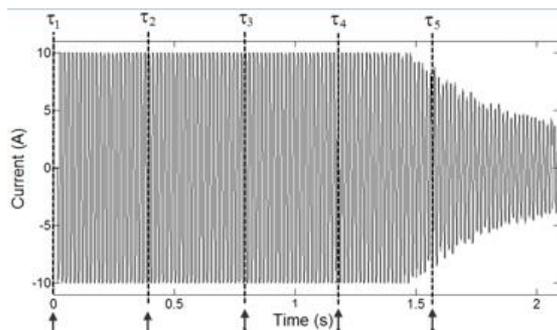
Universidad
de Guanajuato



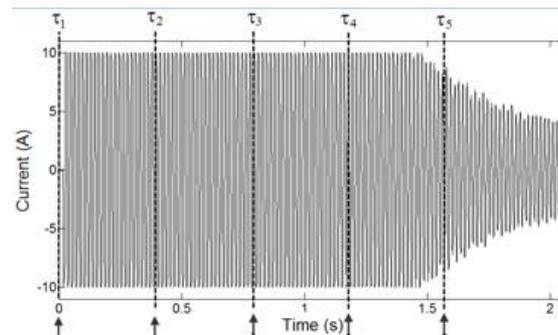
Aplicaciones del Análisis Espectral en la identificación de fallas en equipo eléctrico y estructuras

Introducción

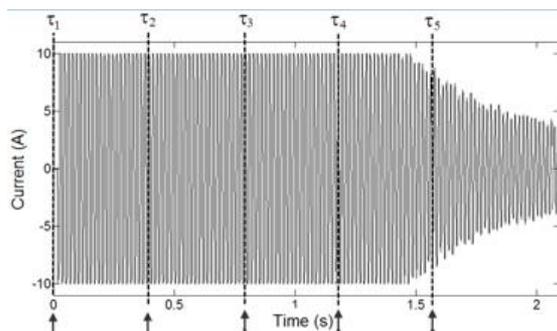
- Que es un Análisis Espectral?
- Cuando usar una análisis espectral?



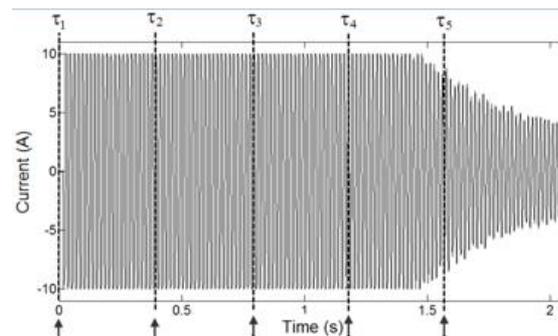
Señal de corriente de un motor sano



Señal de corriente de un motor con barras rotas

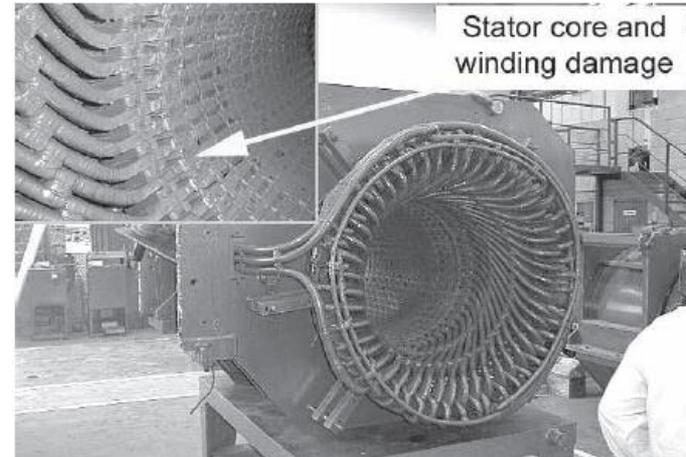
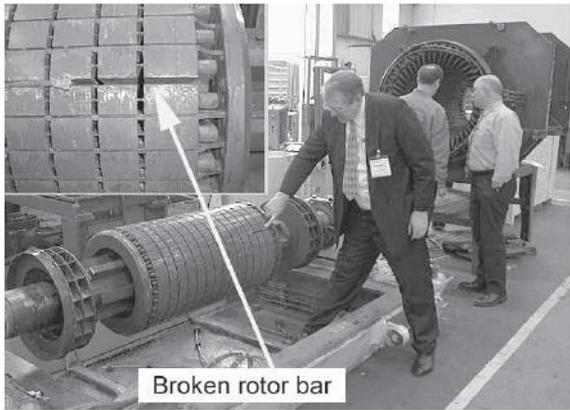


Señal de corriente de un motor con desbalance



Señal de corriente de un motor con problemas de baleros

Ejemplos de Aplicación



Side Damaged

Inner-race scratched

Outer-race scratched

(a)



Inner Bushing

Outer Bushing

(b)

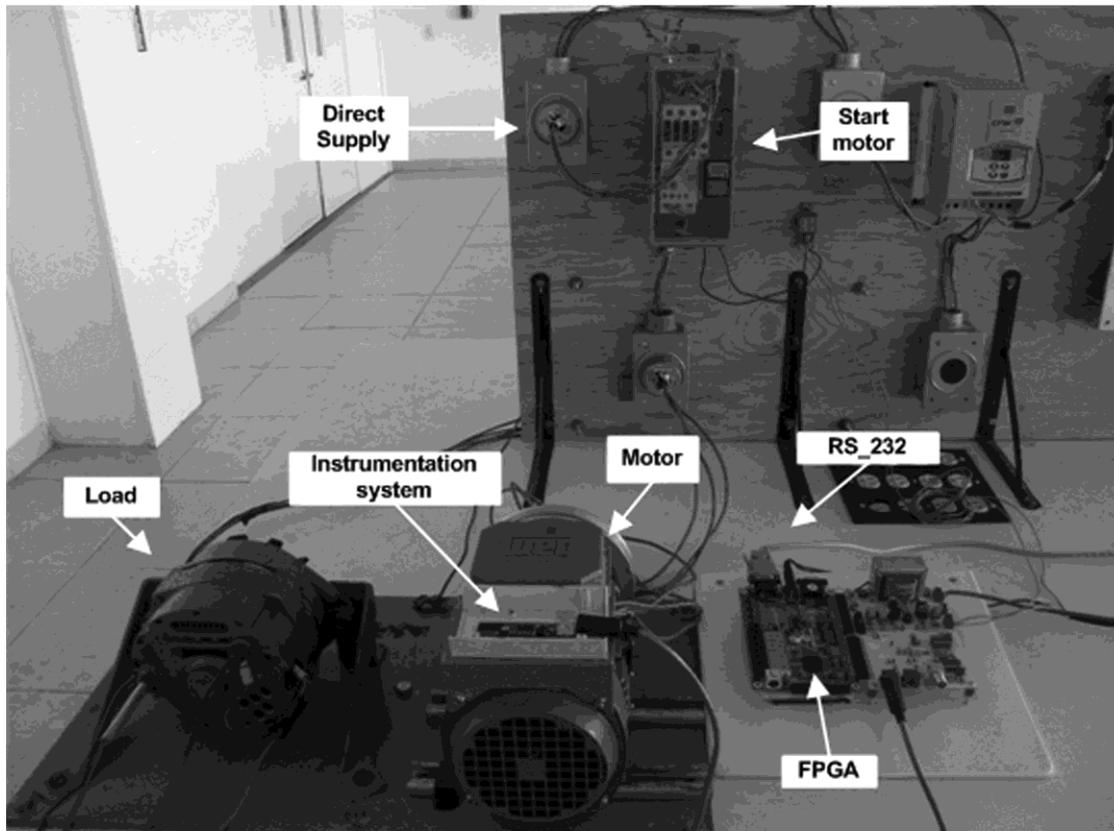
Static Eccentricity

Dynamic Eccentricity

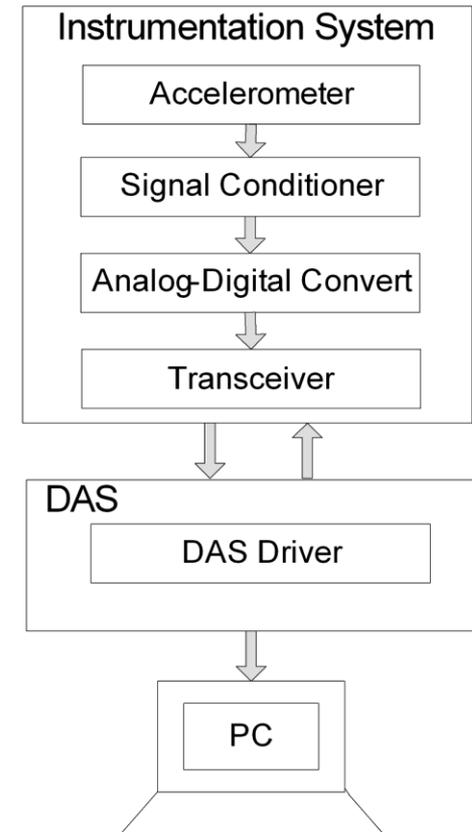
Static Eccentricity



Ejemplos de Aplicación



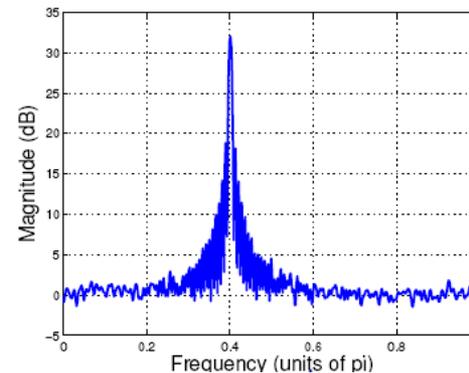
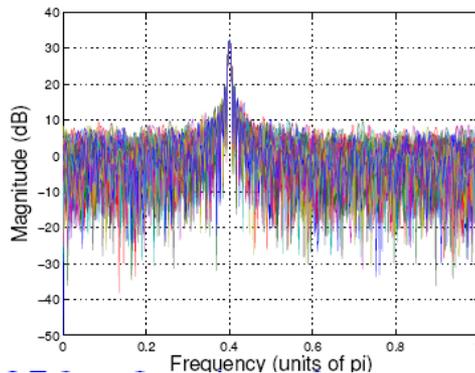
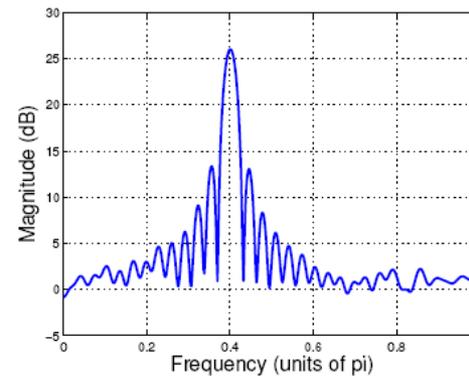
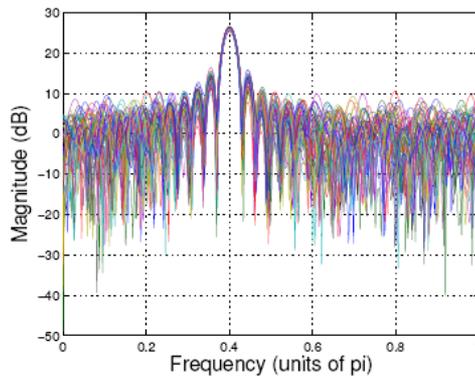
(a)



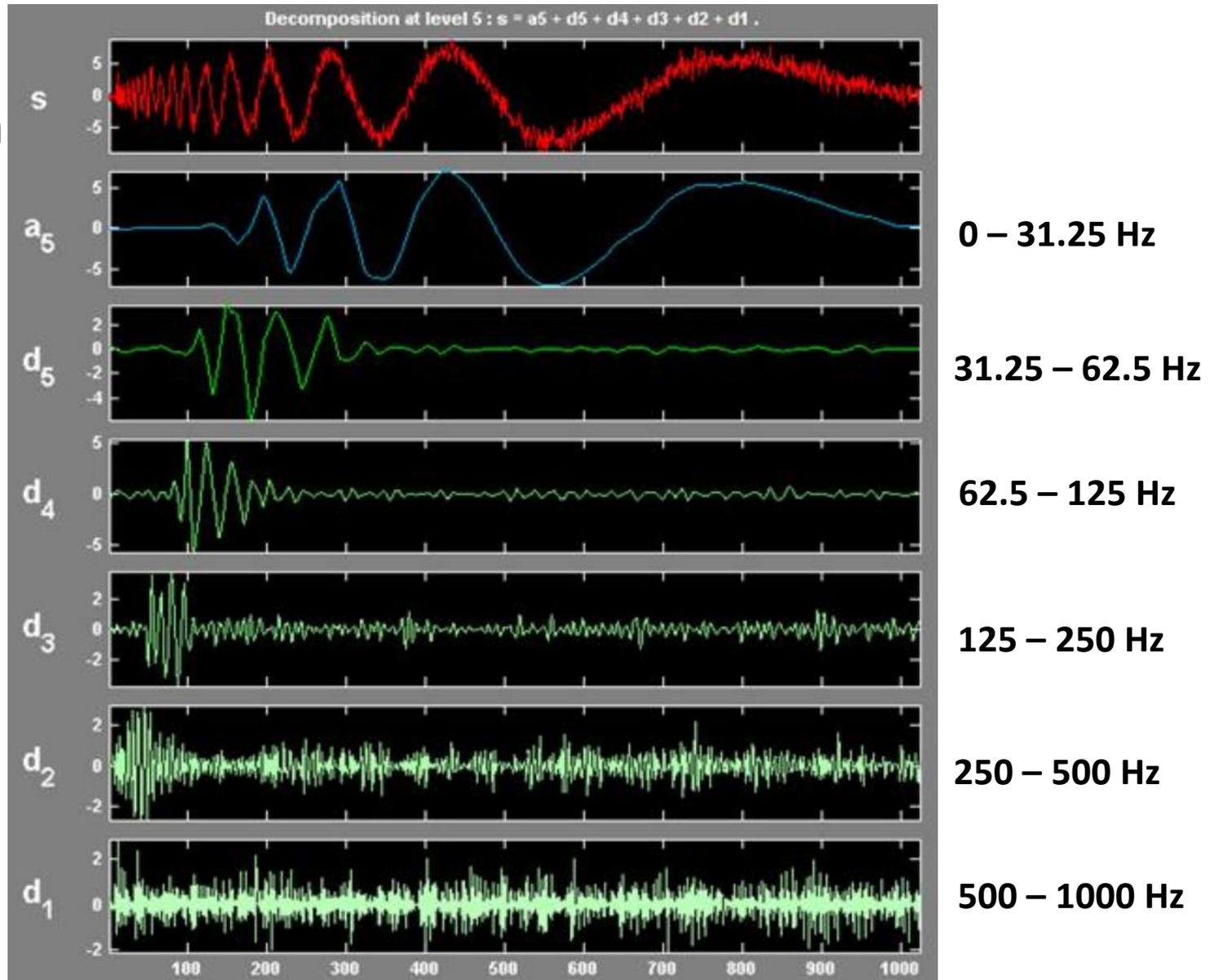
(b)

Análisis en Frecuencia: La Transformada de Fourier.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{j2\pi ft} dt$$



Transformada Wavelet



MUSIC (Multiple Signal Classification)

- ❑ Este método pertenece a la clase de eigen-descomposición, en los cuales los datos analizados $x(n)$ pueden representarse por k sinusoides complejas en ruido blanco $e(n)$:

$$x(n) = \sum_{i=1}^K B_i e^{j2\pi f_i n} + e(n)$$

Donde $B_i = |B_i| e^{j\phi_i}$ y B_i es la amplitud compleja de la i -ésima senoide compleja, f_i es su frecuencia, y $e(n)$ es ruido blanco de media cero.

- ❑ Este método usa la descomposición en eigen-vectores de la señal de entrada $x(n)$ para obtener dos sub-espacios ortogonales.

MUSIC (Multiple Signal Classification)

- ❑ Los eigenvalores más grandes de p conforman el sub-espacio de la señal con dimensión p .
- ❑ Los eigenvalores restantes conforman el sub-espacio del ruido con dimensión $(M-p)$, donde M es la dimensión de la matriz de auto-correlación estimada.
- ❑ A partir de la condición de ortogonalidad de ambos sub-espacios, el pseudo-espectro puede ser calculado usando el siguiente estimador de frecuencia:

$$P_B(f) = \frac{1}{\sum_{i=p+1}^M |s(f)^H v_k|^2}$$

Donde v_k son los eigenvectores de ruido y $s(f)$ es el vector señal dado por

$$s(f) = \begin{bmatrix} 1 & e^{j2\pi f} & e^{j4\pi f} & \dots & e^{j2\pi f[N-1]} \end{bmatrix}$$

Análisis de Barras Rotas en la corriente del transitorio de arranque

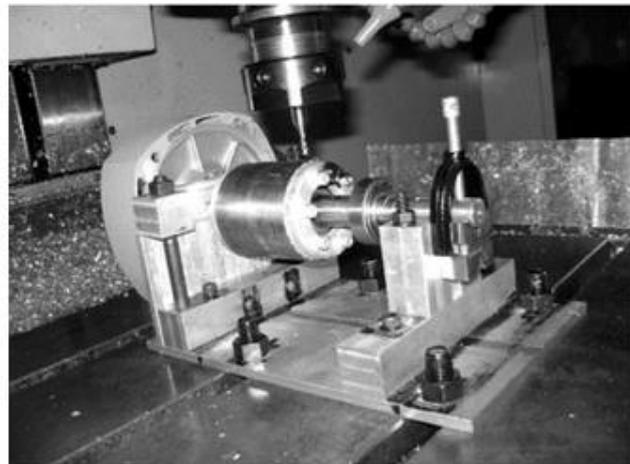
- ❖ Los motores de inducción son esenciales en muchas aplicaciones industriales, sin embargo estas maquinas pueden ser afectadas por diversas fallas, siendo una de las mas comunes las barras rotas en el rotor
- ❖ Durante el transitorio de arranque, la mayoría de las fallas son maximizadas a causa de que estas se encuentran en condiciones de operación extremas, por que la falla de barras rotas es más fácilmente detectable, identificando dos componentes harmónicas (f_{BRB}) que aparecen alrededor de la frecuencia de la línea de alimentación. Estas componentes están dadas por:

$$f_{BRB} = f_s (1 \pm 2s)$$

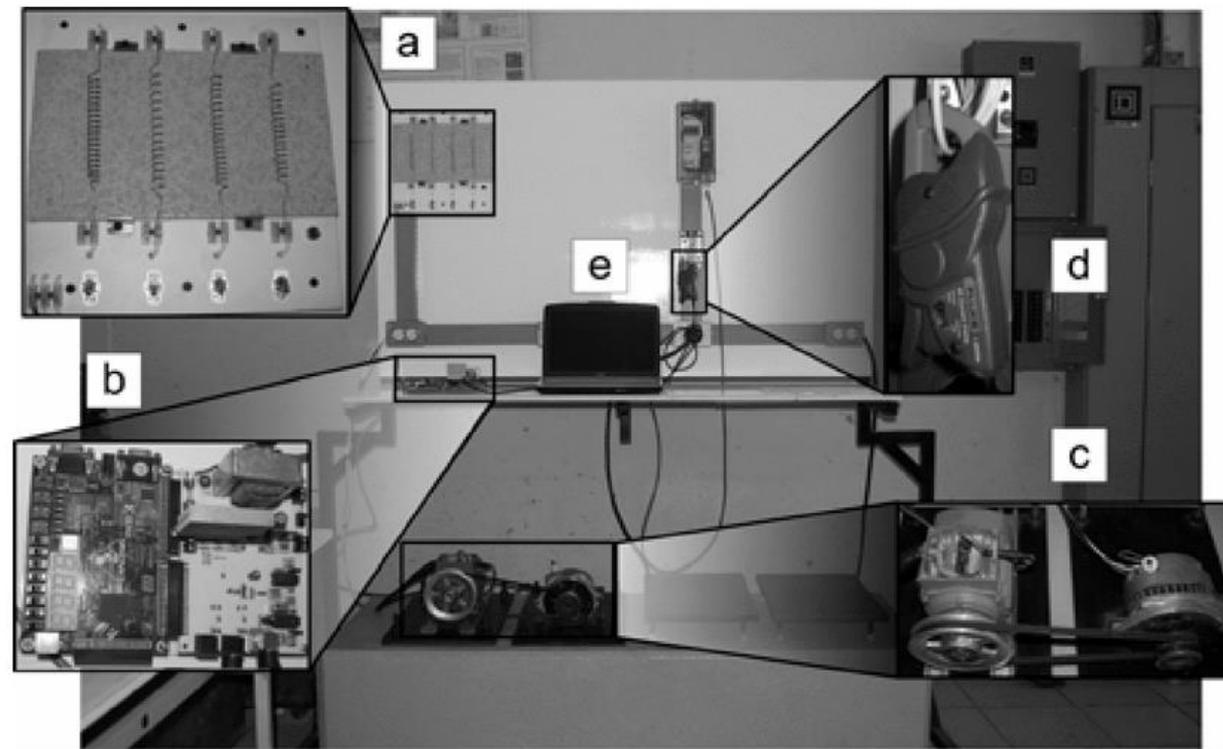
Análisis de Barras Rotas en la corriente del transitorio de arranque de una maquina CNC



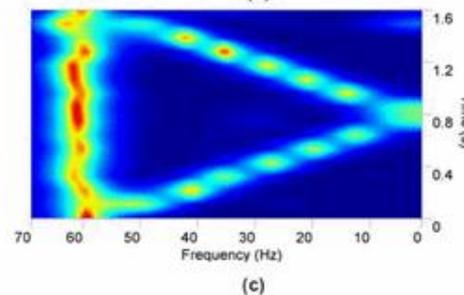
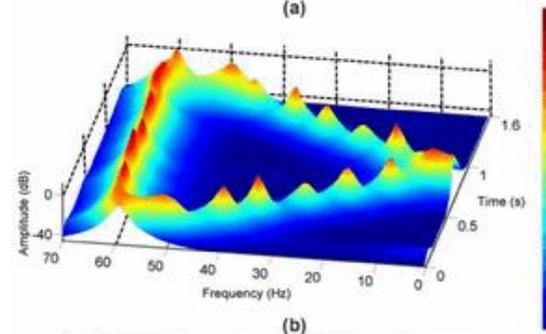
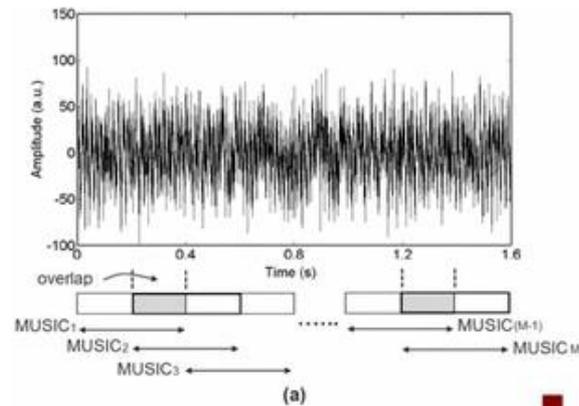
(a)



(b)



Análisis de media Barra Rota en la corriente del transitorio de arranque



Análisis de fallas múltiples (Barras rotas, desbalance y baleros) simultáneas a través de la corriente y vibraciones en estado estable

❑ La frecuencia de la falla de barras rotas esta dada por:

$$f_{BB} = \left[k \left(\frac{1-s}{p} \right) \pm s \right] f_s$$

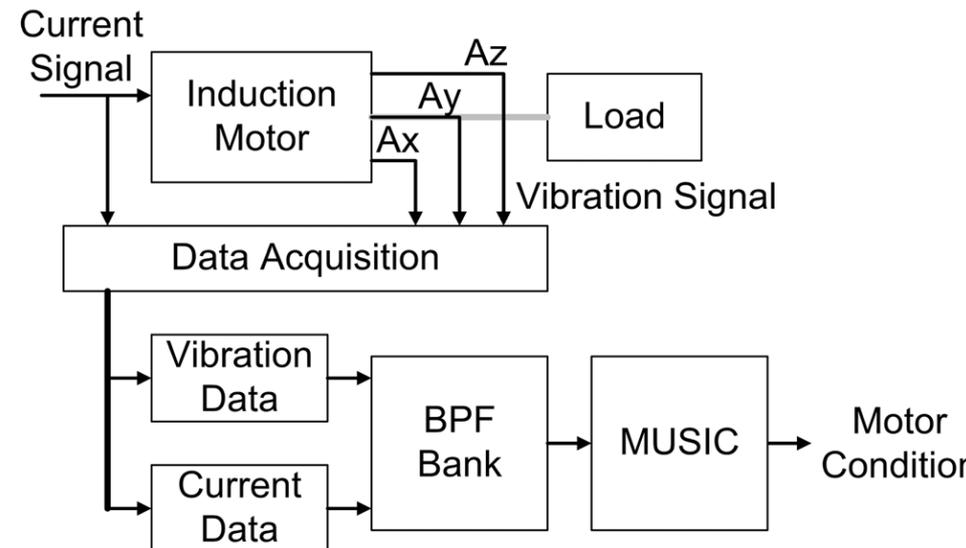
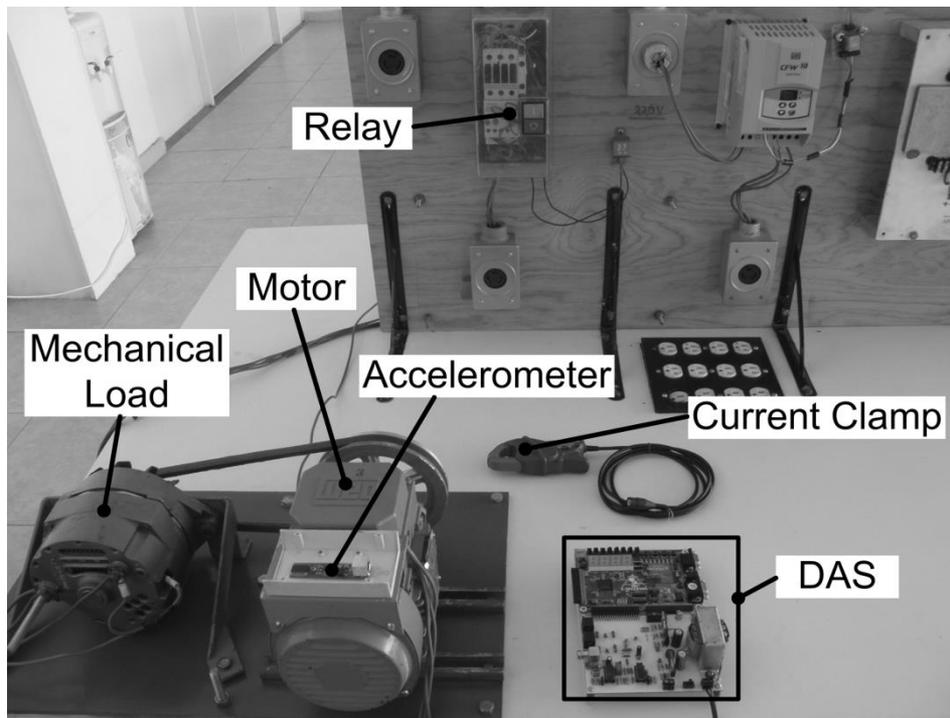
❑ La frecuencia de la falla por baleros en señal de corriente y vibraciones están dadas respectivamente por:

$$f_{BRN_c} = \frac{N_B}{2} f_r \left(1 - \frac{D_b}{D_c} \cos \theta \right) \quad f_{BRN_v} = \left(f_s \pm m f_{BRN_c} \right)$$

Donde N_B es el número de balín en el balero, f_r es la frecuencia del rotor, D_b es el diámetro del balín, D_c es el diámetro de la cubierta del balero, θ es el ángulo de contacto entre la superficie del balero, f_s es la frecuencia de la línea, $m, k=1,2,3\dots$, s es el slip y p es el número de polos .

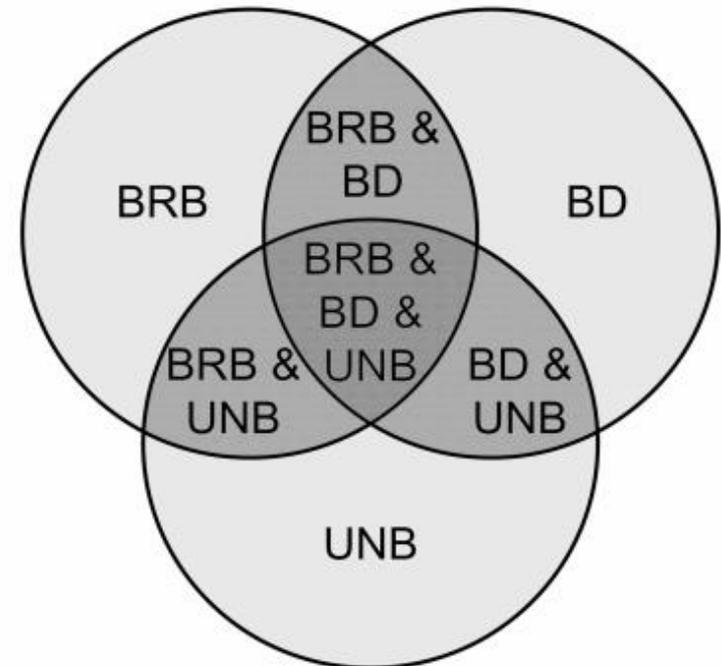
Análisis de fallas múltiples (Barras rotas, desbalance y baleros) simultaneas a través de la corriente y vibraciones en estado estable

- La frecuencia de la falla de desbalance mecánico esta dada por un incremento notable en la magnitud de la frecuencia del rotor (f_r).



Análisis de fallas múltiples (Barras rotas, desbalance y baleros) simultáneas a través de la corriente y vibraciones en estado estable

- Esquema de las pruebas realizadas para la identificación de las fallas múltiples.



Análisis de fallas múltiples (Barras rotas, desbalance y baleros) simultáneas a través de la corriente y vibraciones en estado estable

- Espectros obtenidos en la banda B_1 de corriente para la identificación de la barra rota en las frecuencias de 53.4 y 66.7 Hz.

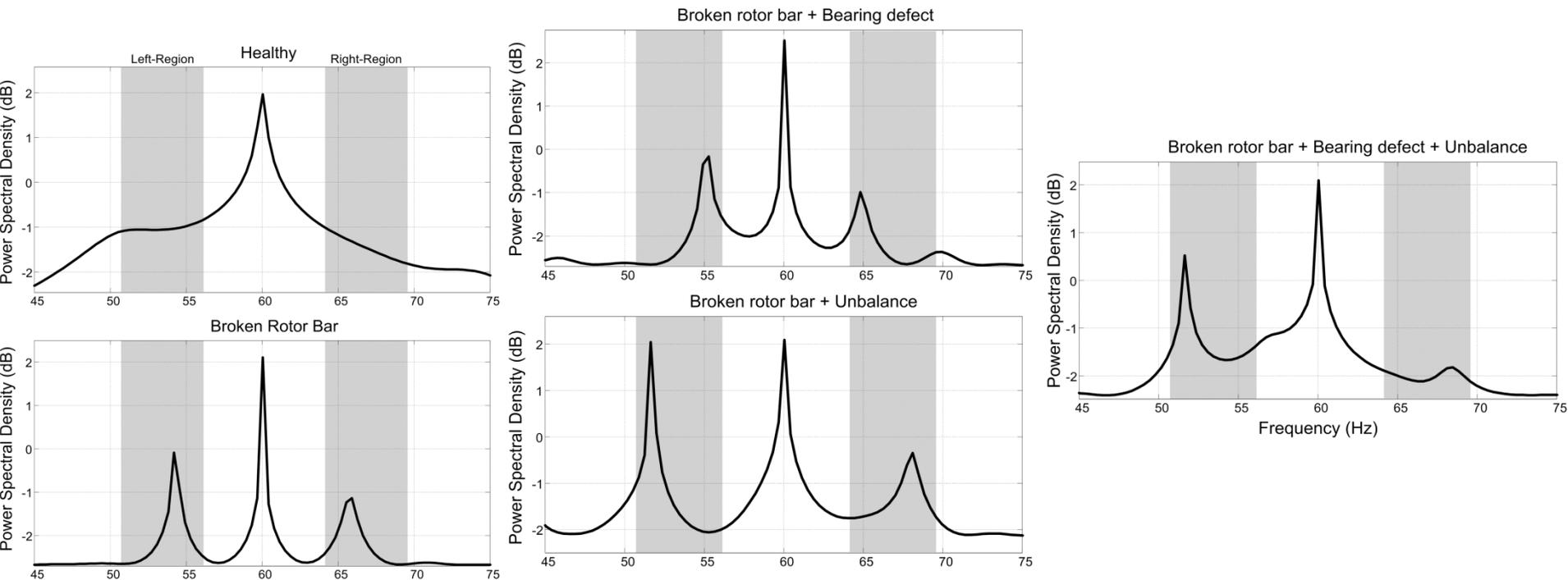
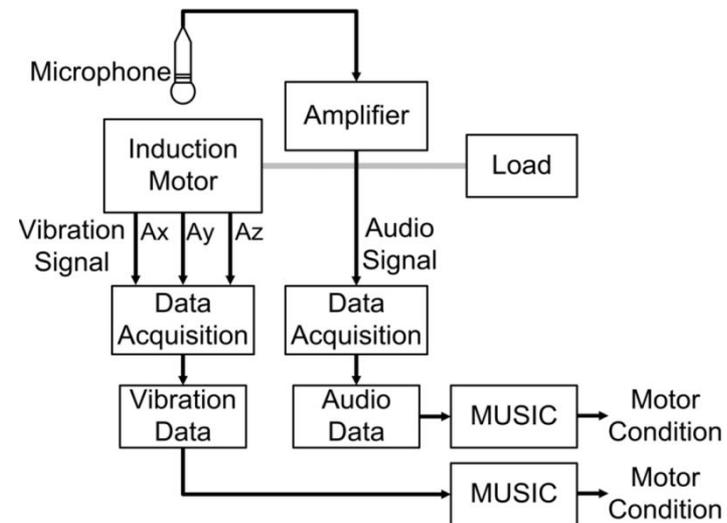
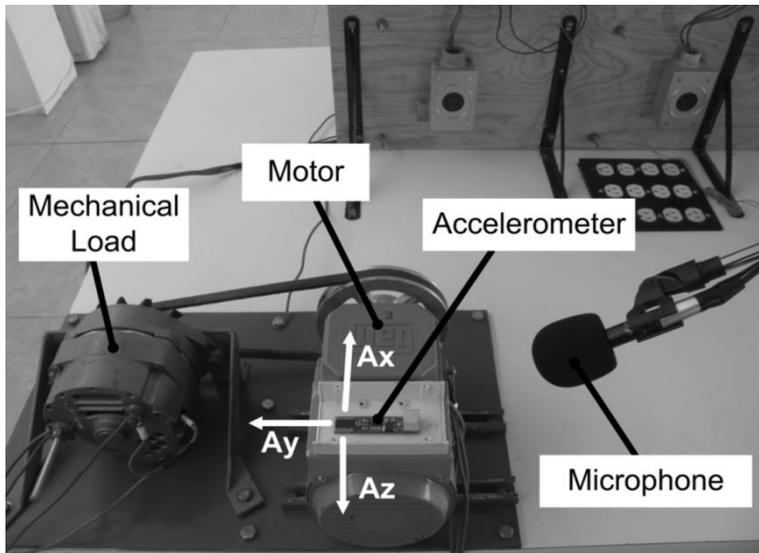


TABLE II
DETECTABILITY IN DECIBELS FOR THE MULTIPLE COMBINED FAULTS ANALYSIS

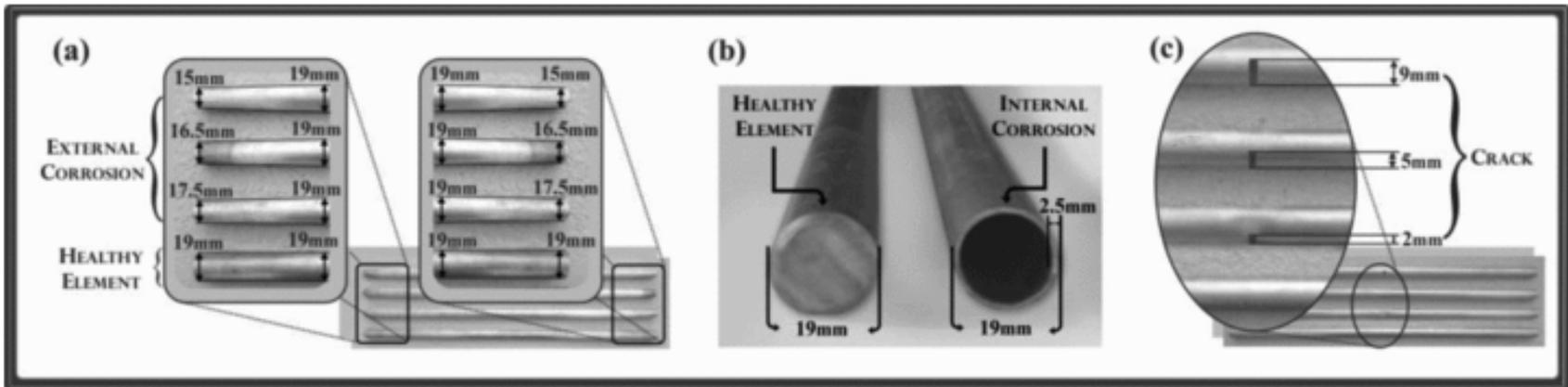
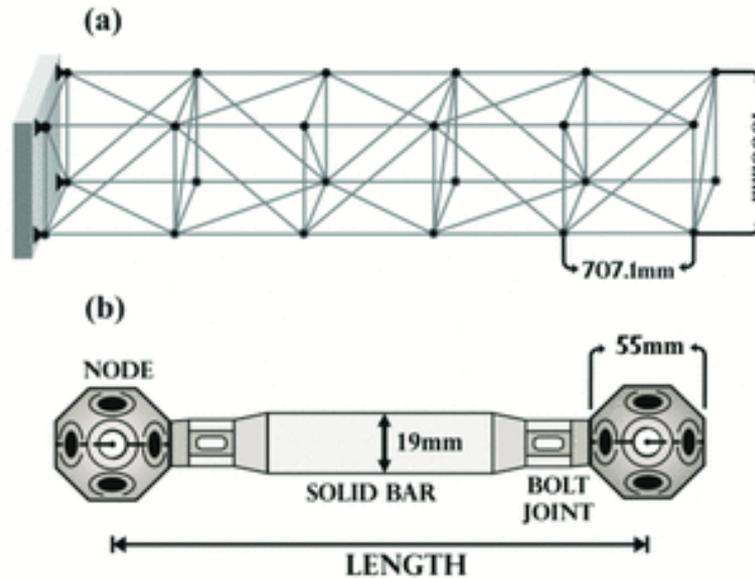
Condition	FFT	Bandpass filter + MUSIC
BRB	8	19
BRB + BD	7	15
BRB + UNB	16	60
BRB + BD + UNB	14	30
BD (current)	0	21
BD + BRB (current)	0	27
BD + UNB (current)	0	10
BD + BRB + UNB (current)	0	8
BD (A_X)	0	24
BD + BRB (A_X)	0	14
BD + UNB (A_X)	0	15
BD + BRB + UNB (A_X)	0	14
UNB	18	50
UNB + BRB	15	32
UNB + BD	7	30
UNB + BRB + BD	13	33

DetECCIÓN DE FALLAS MÚLTIPLES (BARRAS ROTAS, DESBALANCE Y BALEROS) A TRAVÉS DE SEÑALES DE SONIDO

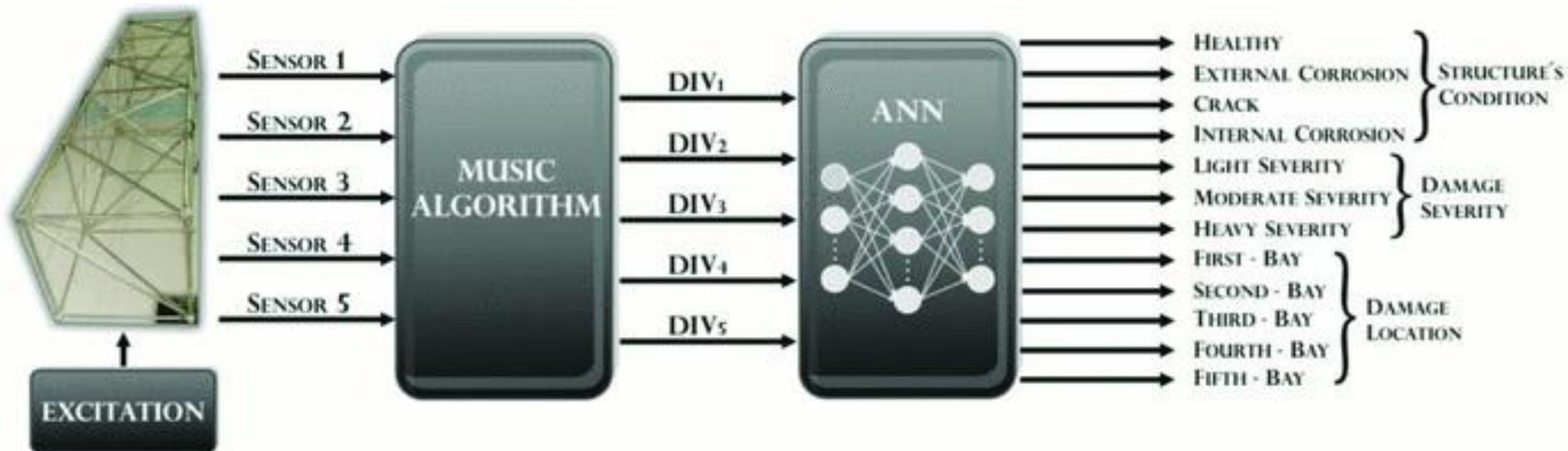


- La frecuencia de muestreo es de 4 KHz y se obtuvieron 32768 muestras de audio.
- Para las vibraciones se uso una frecuencia de muestreo de 1500 Hz y se obtuvieron 4096 muestras.

Identificación de fallas en estructuras



Identificación de fallas en estructuras



Gracias por su Atención



Universidad de Valladolid
Centro «Tordesillas»
de Relaciones con Iberoamérica



Universidad
de Guanajuato

Gerardo Martínez Figueroa, Universidad de Guanajuato

“Detection of Power Quality Disturbances using the Bispectrum and the Spectral-Kurtosis”

Está realizando una estancia de investigación en el Dpto. de Ingeniería Eléctrica de la UVA con una beca del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México.

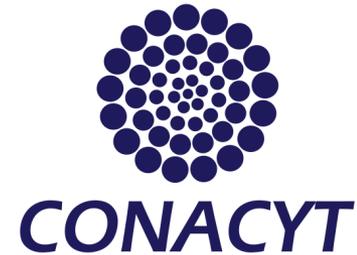


Universidad de Valladolid
Centro «Tordesillas»
de Relaciones con Iberoamérica



Universidad
de Guanajuato





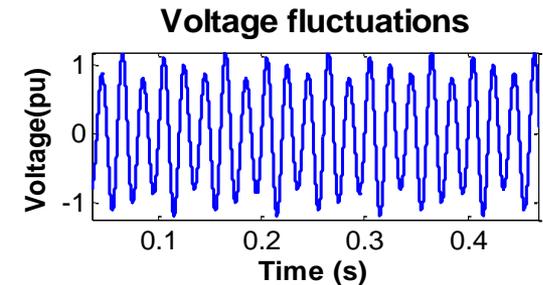
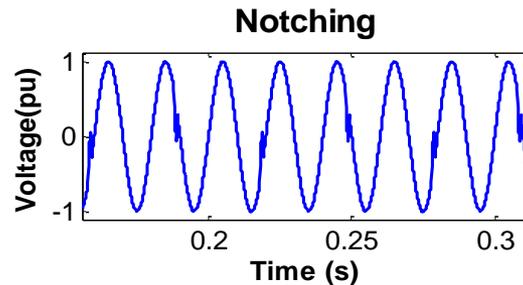
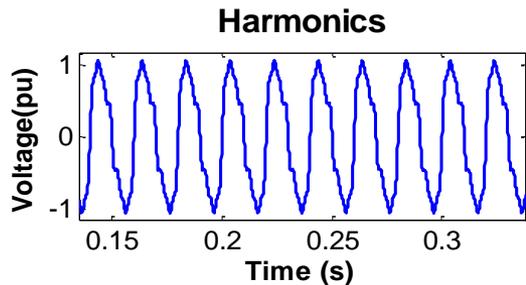
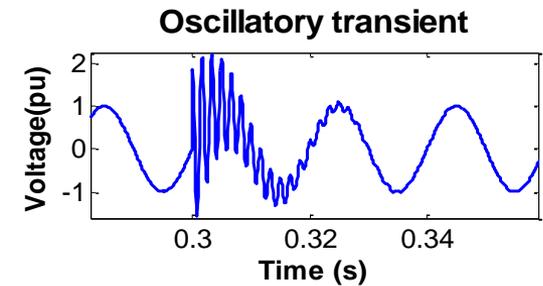
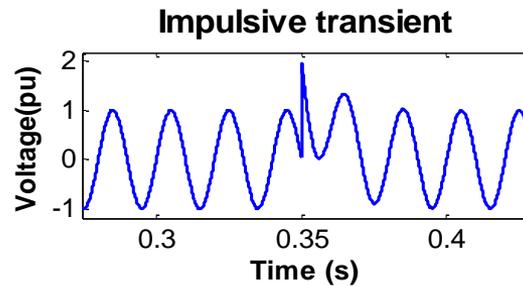
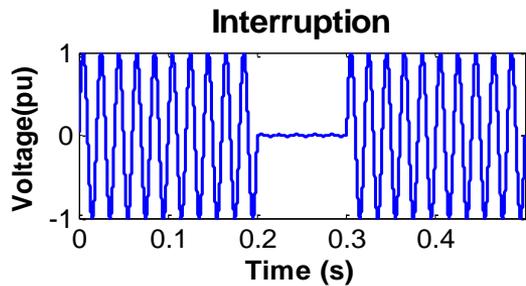
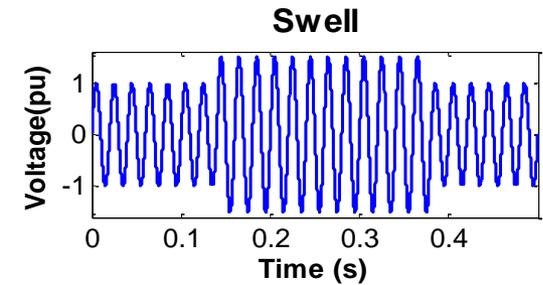
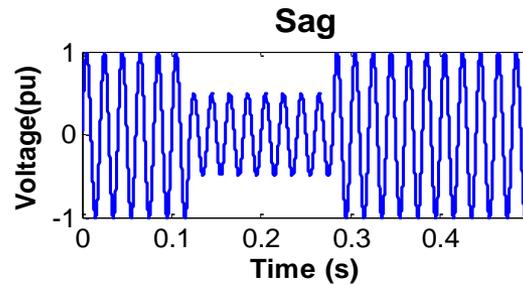
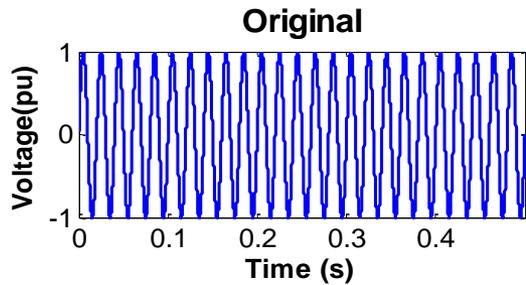
“Detection of Power Quality Disturbances using Higher-Order Statistics and Spectra”

Gerardo de Jesús Martínez Figueroa

Asesores: Dr. René de J. Romero Troncoso
Dr. Daniel Moríñigo Sotelo

22 de Junio de 2016

Different types of PQD:



Higher-Order Statistics and Spectra:

- Variance
- Skewness
- Kurtosis

Time-domain features

$$\gamma_{2,x} = C_{2,x}(0) = E[x^2(k)]$$

$$\gamma_{3,x} = C_{3,x}(0) = E[x^3(k)]$$

$$\gamma_{4,x} = C_{4,x}(0) = E[x^4(k)] - 3(\gamma_{2,x})^2$$

- 3rd- and 4th-order cumulants

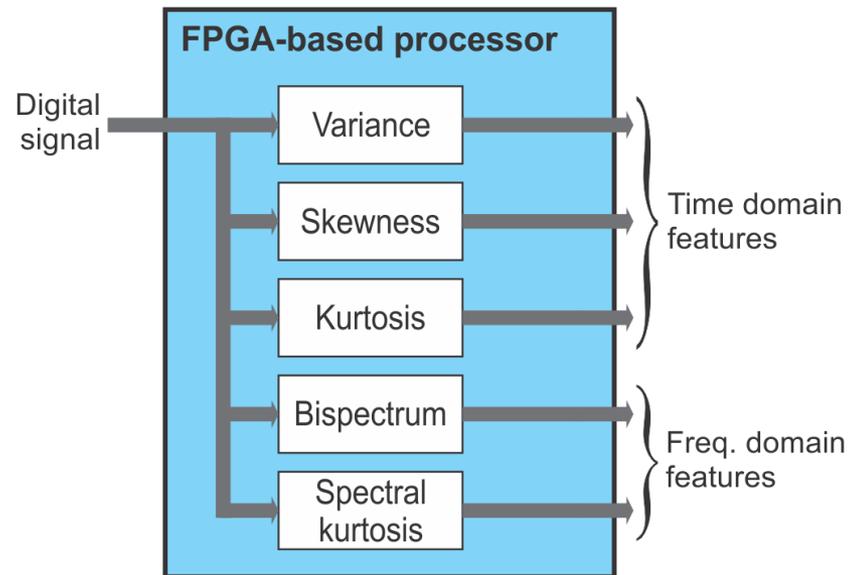
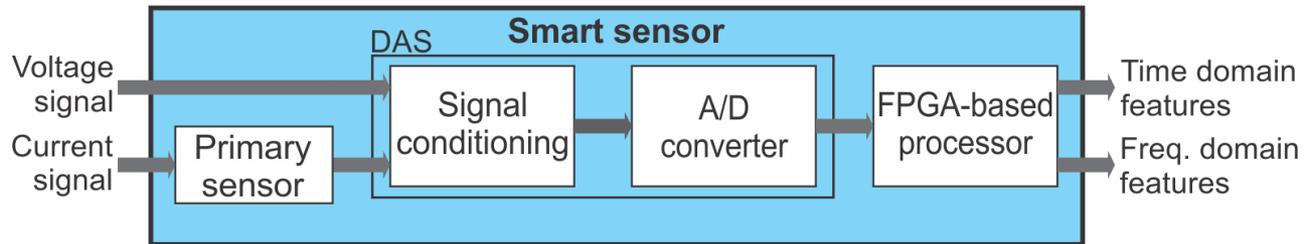
Frequency-domain features

- Bispectrum.
- Spectral kurtosis.

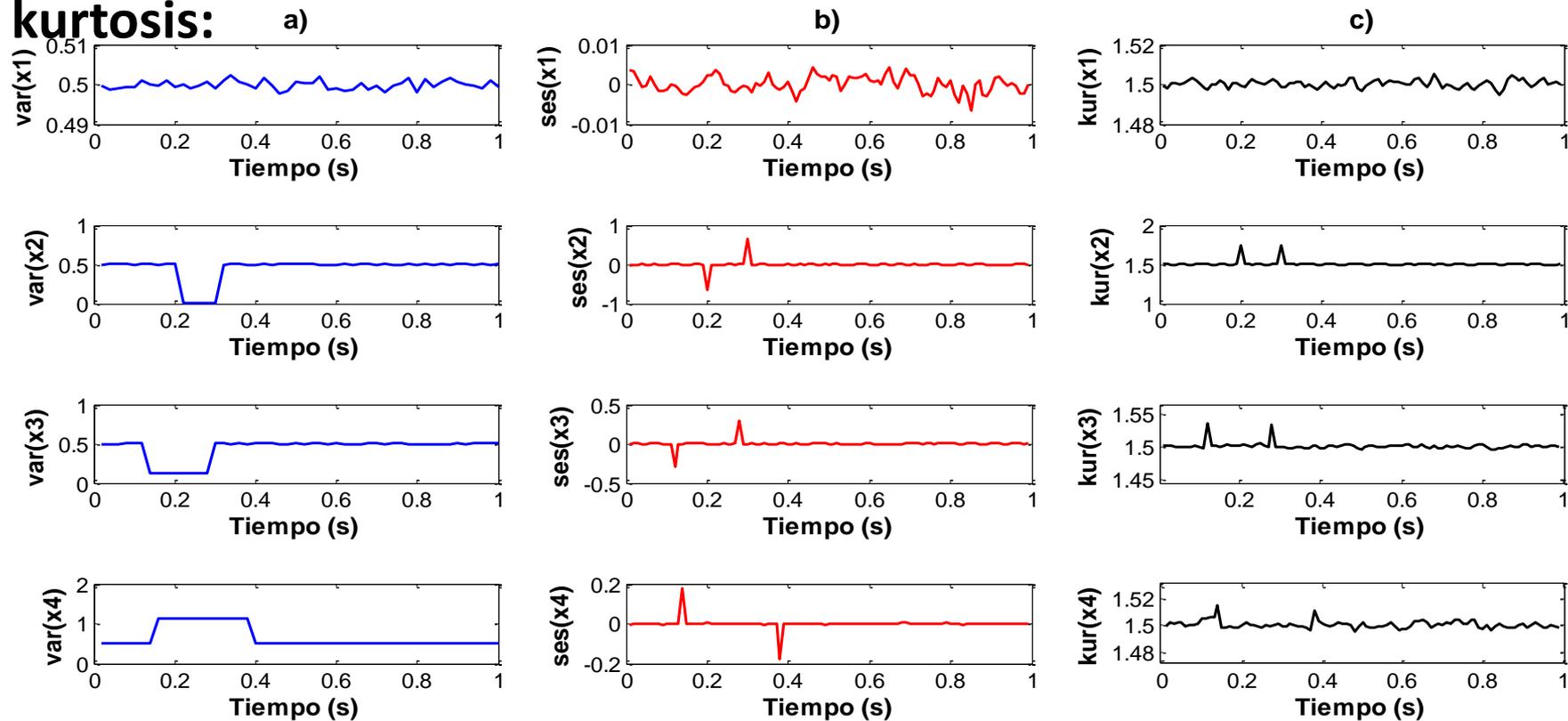
$$B_x(f_1, f_2) = \mathcal{F}\{C_{3,x}(\tau_1, \tau_2)\} = \sum_{\tau_1=-\infty}^{\infty} \sum_{\tau_2=-\infty}^{\infty} C_{3,x}(\tau_1, \tau_2) e^{-j2\pi f_1 \tau_1} e^{-j2\pi f_2 \tau_2}$$

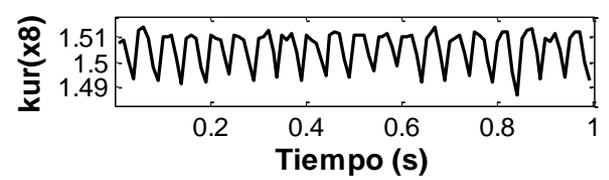
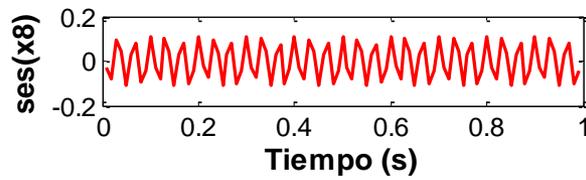
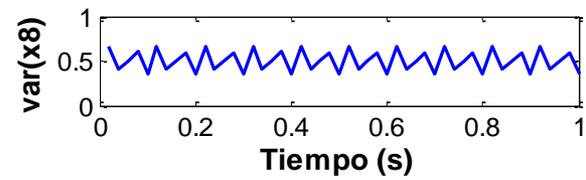
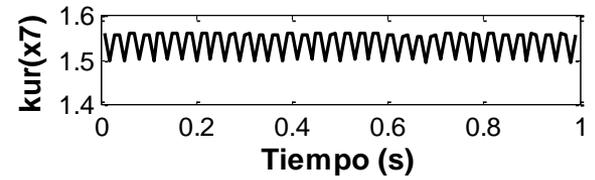
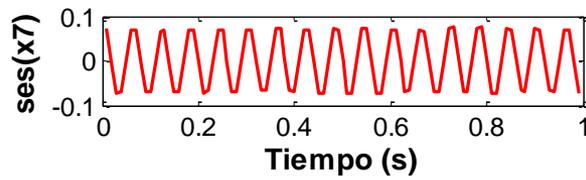
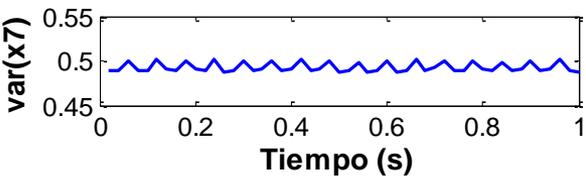
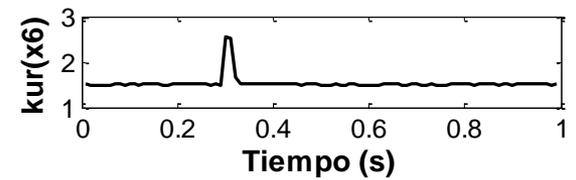
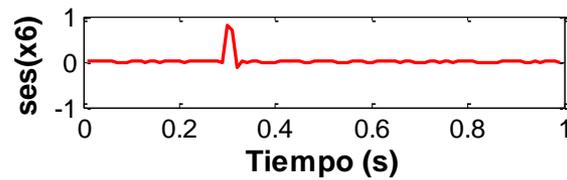
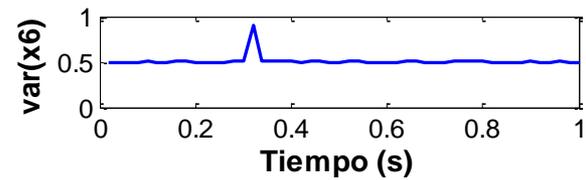
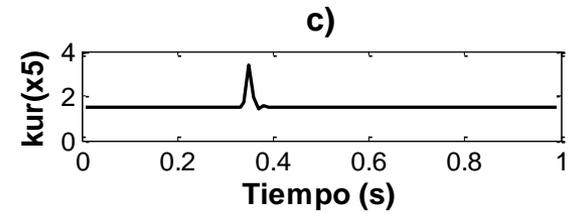
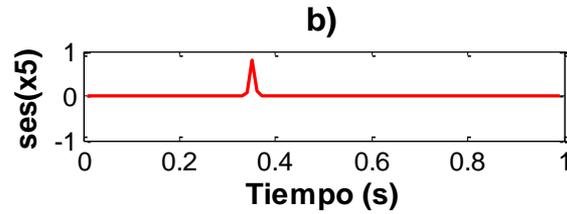
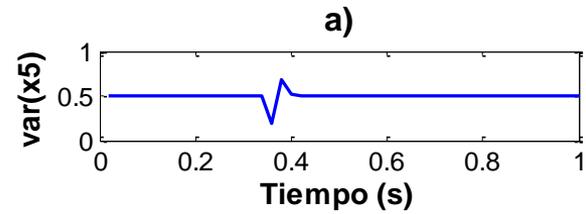
$$K_X^{M,L}(m) = \frac{L}{(L-1)} \left[\frac{\left(\sum_i^{=1L} |X_M^i(m)|^4 \right)}{\left(\sum_i^{=1L} |X_M^i(m)|^2 \right)^2} - 2 \right]$$

Smart sensor:

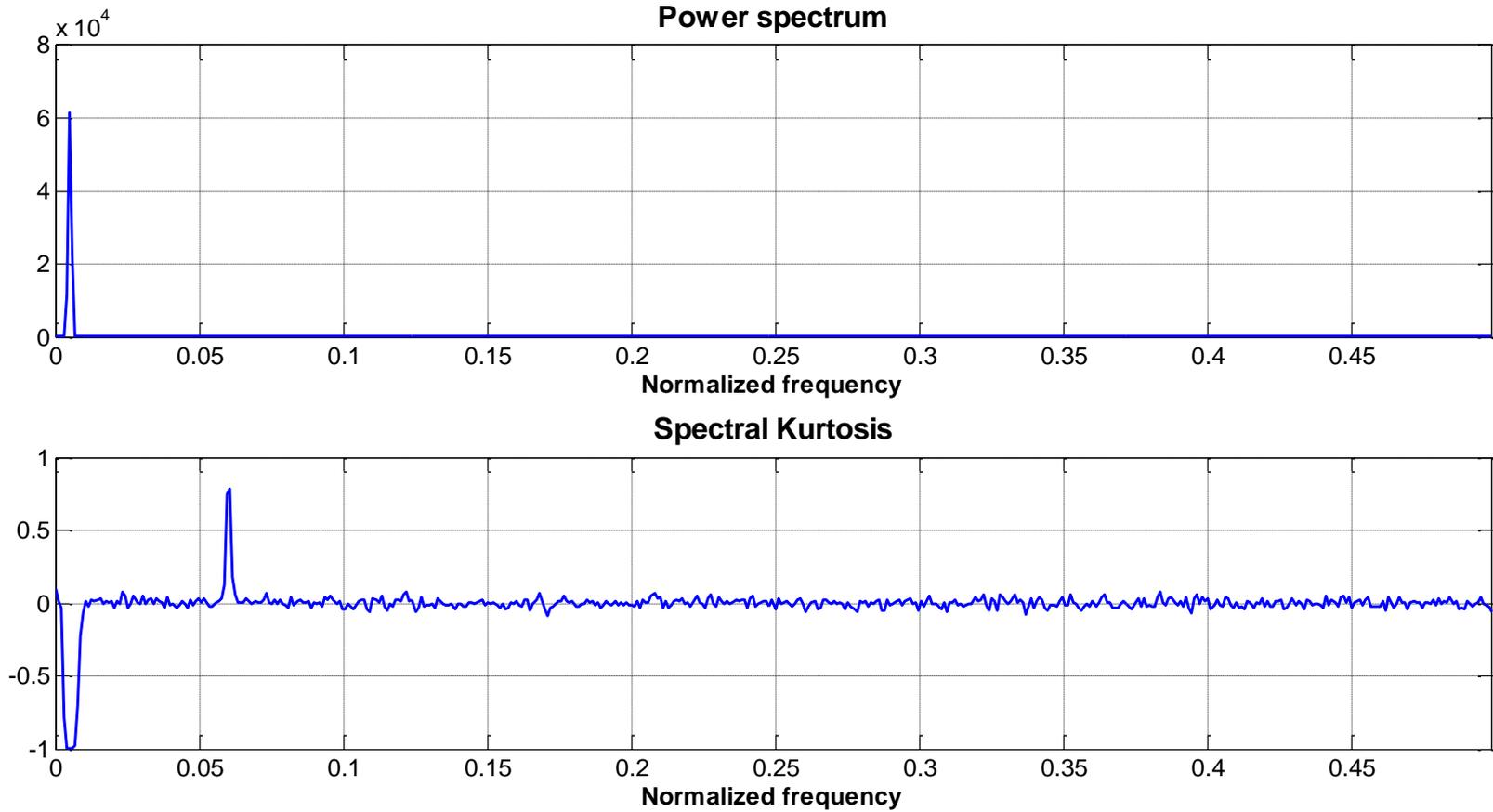


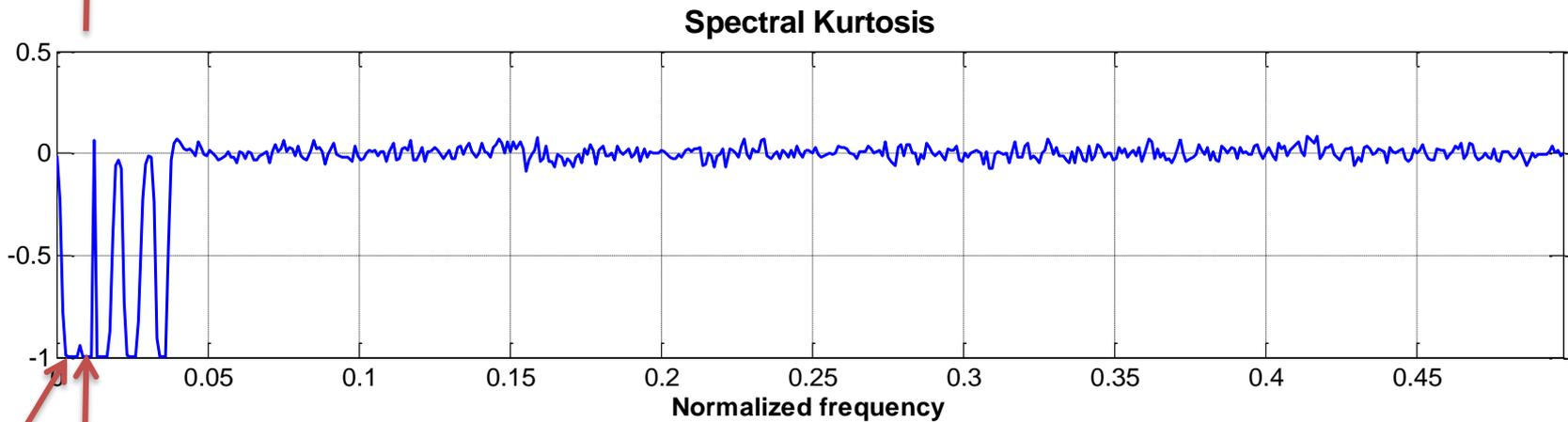
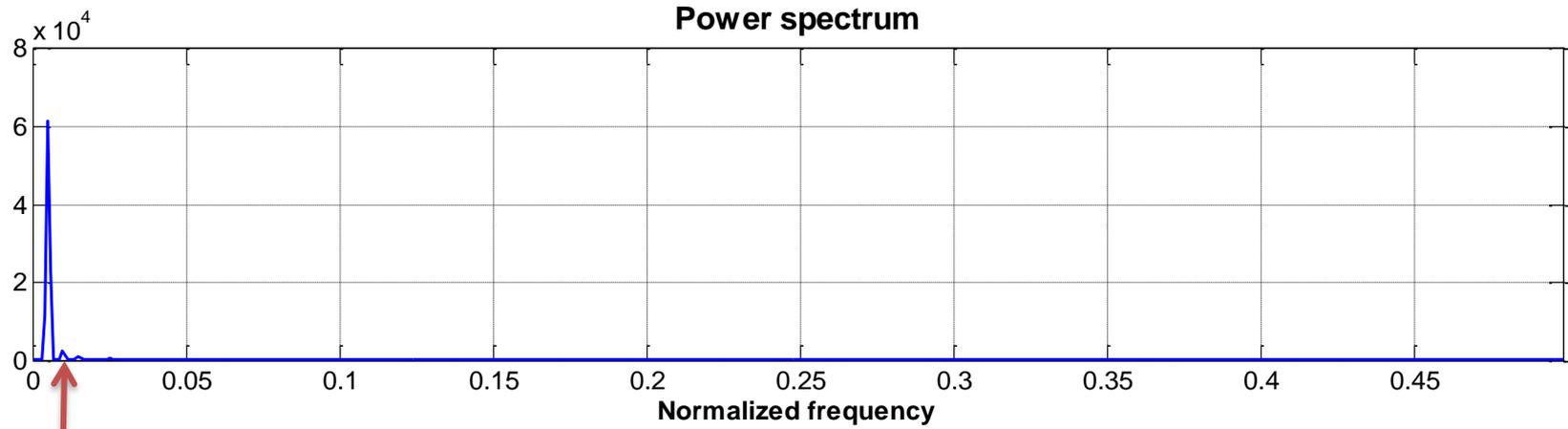
Variance, skewness and kurtosis:

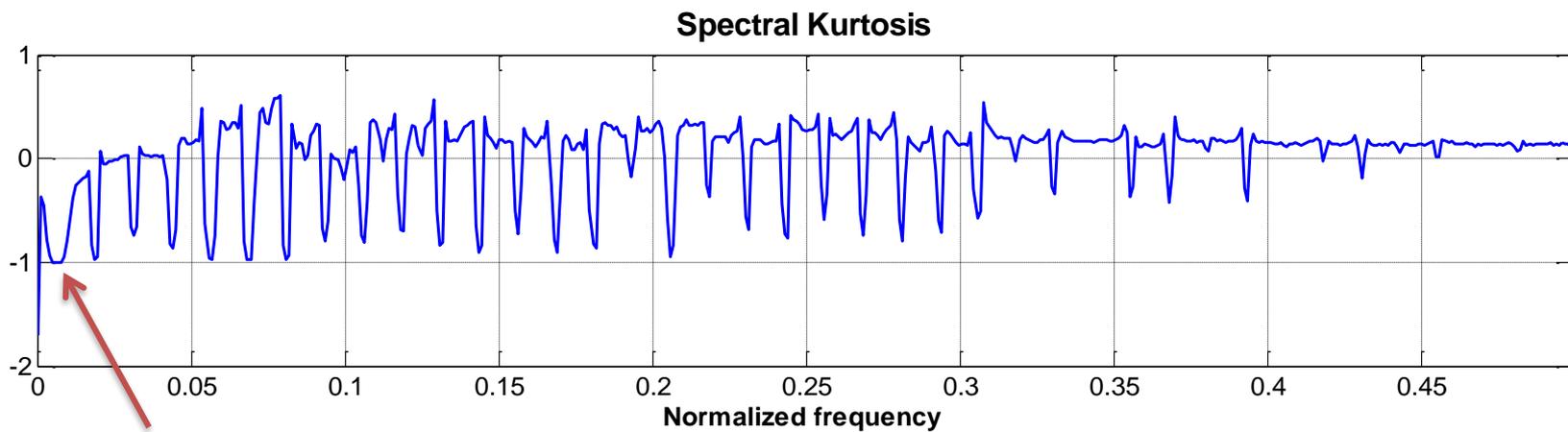
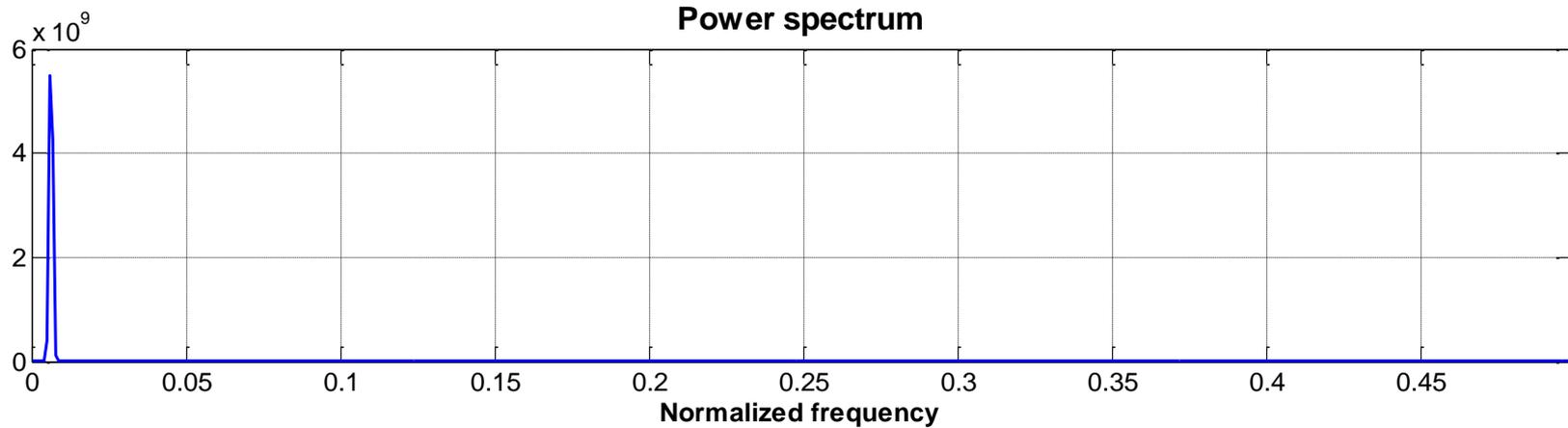




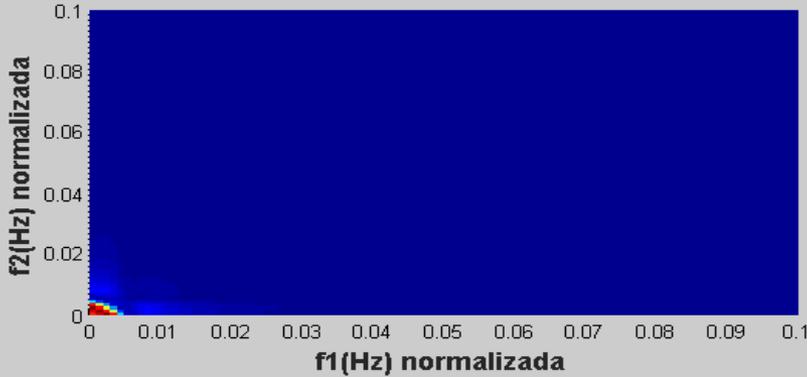
Spectral Kurtosis:



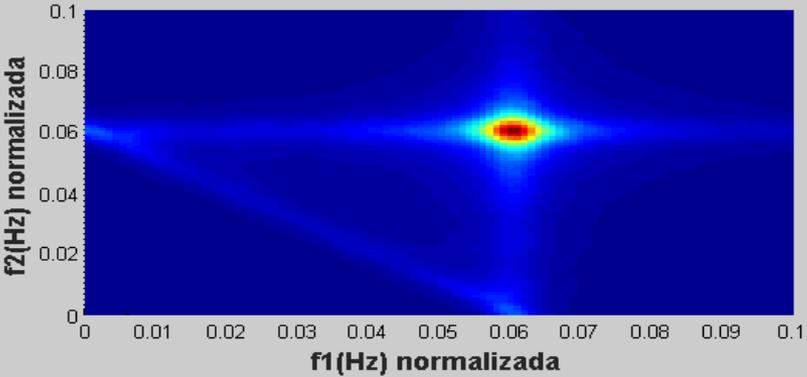




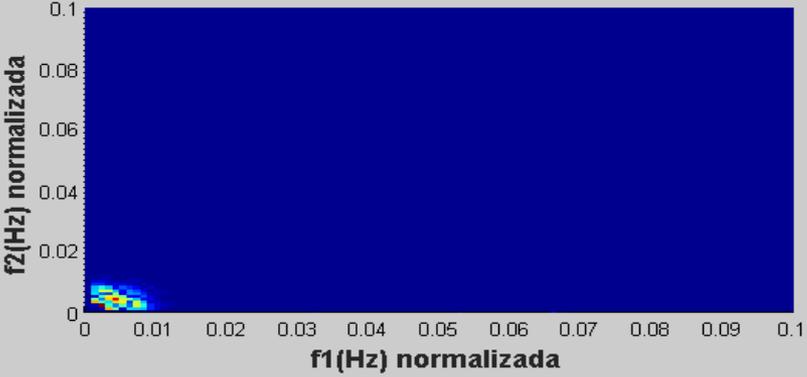
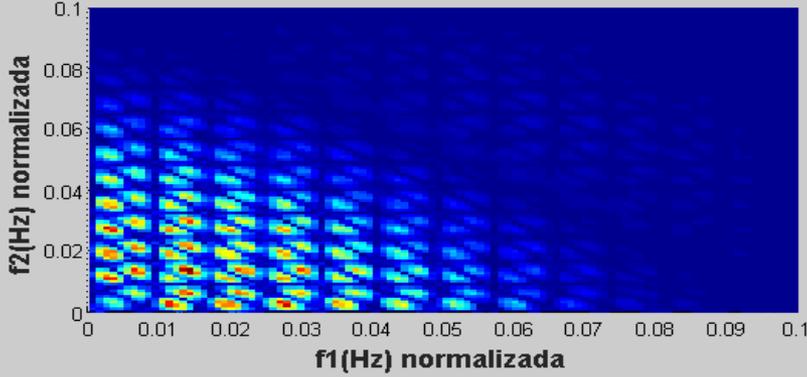
Bispectrum:

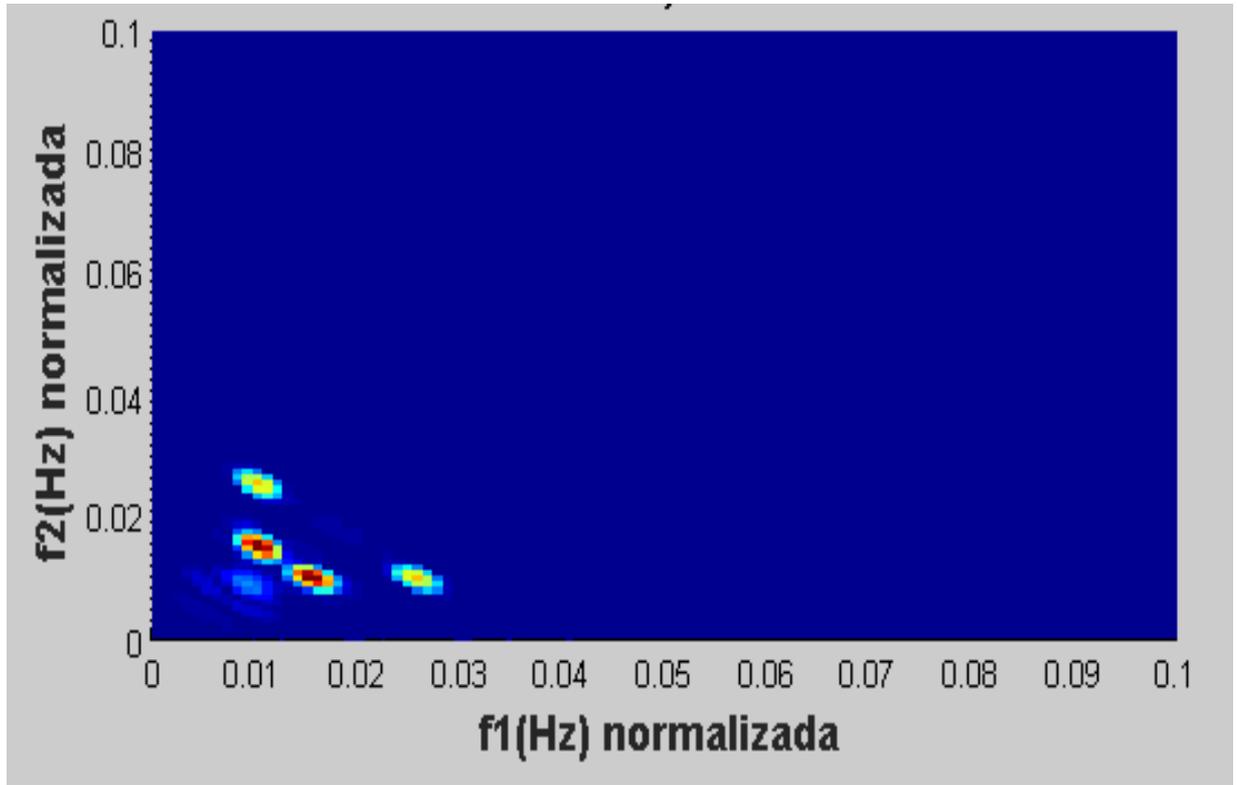


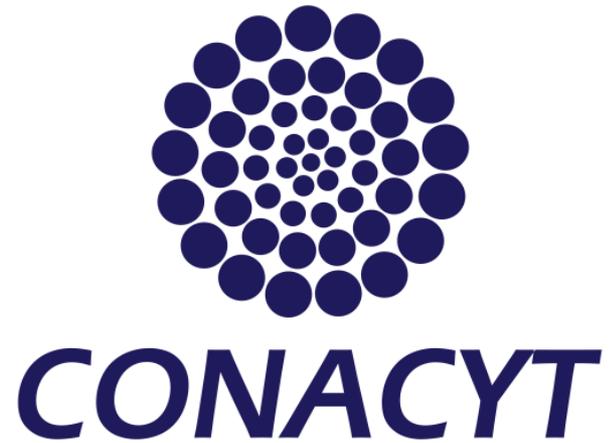
g)



h)







This work is supported by the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología of mexican government, trough the graduate scholarship number 401358.



Universidad de Valladolid
Centro «Tordesillas»
de Relaciones con Iberoamérica



Universidad
de Guanajuato

Tomás García Calva, Universidad de Guanajuato

“Aplicación de muestreo no uniforme para detección de fallas en motores de inducción”

Está realizando una estancia de investigación en el Dpto. de Ingeniería Eléctrica de la UVA con una beca del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México.



Universidad de Valladolid
Centro «Tordesillas»
de Relaciones con Iberoamérica



Universidad
de Guanajuato



“Aplicación de muestreo no uniforme para detección de fallas en motores de inducción”

Maestría en Ing. Eléctrica



Presenta:

Tomás Alberto García Calva

Directores:

Dr. René de J. Romero Troncoso

Dr. Daniel Moríñigo Sotelo

Introducción

Monitoreo y diagnóstico en MI

- Fallas Mecánicas y Eléctricas
- Técnicas de Monitoreo y diagnóstico

-M.C.S.A.

Monitoreo de la corriente de estator :

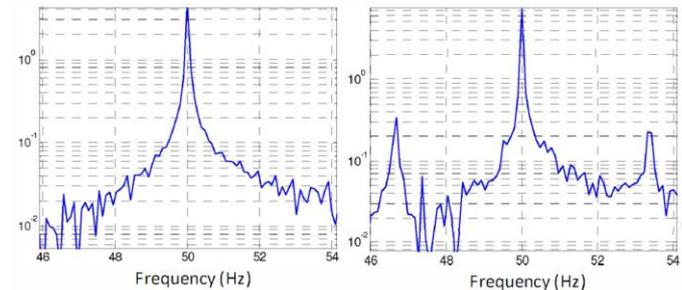
- Estandar
- Bajo costo
- Facilidad de medición

Detección BRR mediante MCSA :

- Realiza detectando la aparición de armónicos de corriente llaman: LSH y RSH. Estos aparecen muy cercanos a la componente fundamental de la alimentación.



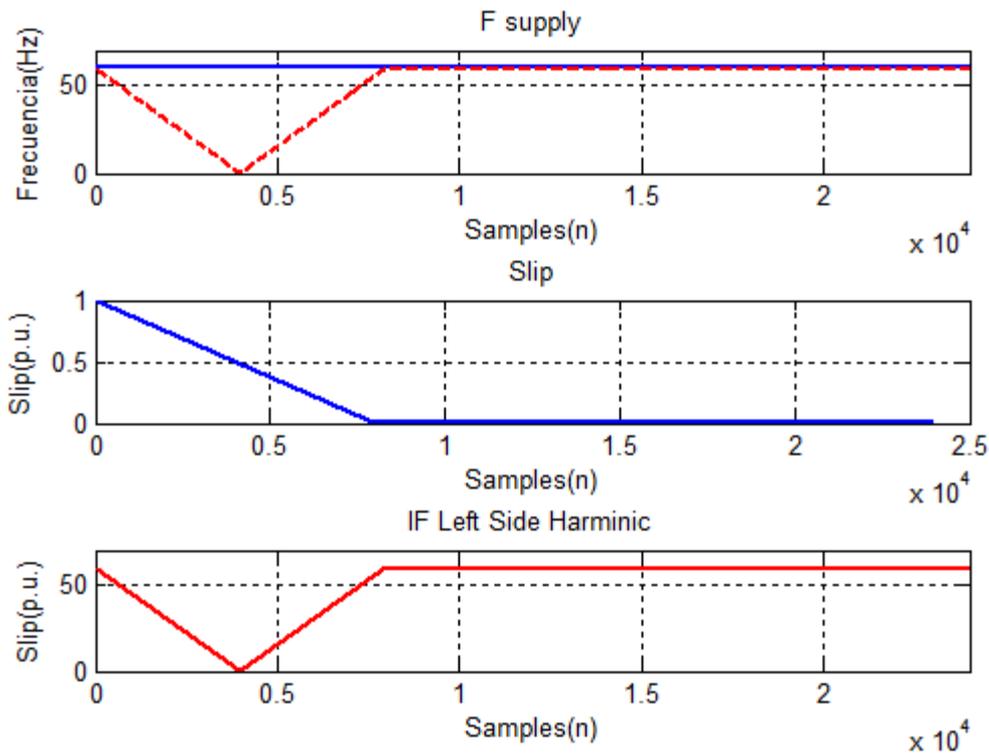
Barra rota en el rotor de un motor de inducción



Espectro de la corriente de alimentación de un motor de inducción: a) Sin falla b) Con una barra interna del estator rota.

Deteccion de Fallas en Estado No Estacionario

$$f_{BRB}(t) = \left[k \left(\frac{1 - s(t)}{\dots} \right) \pm s(t) \right] f_{supp}$$



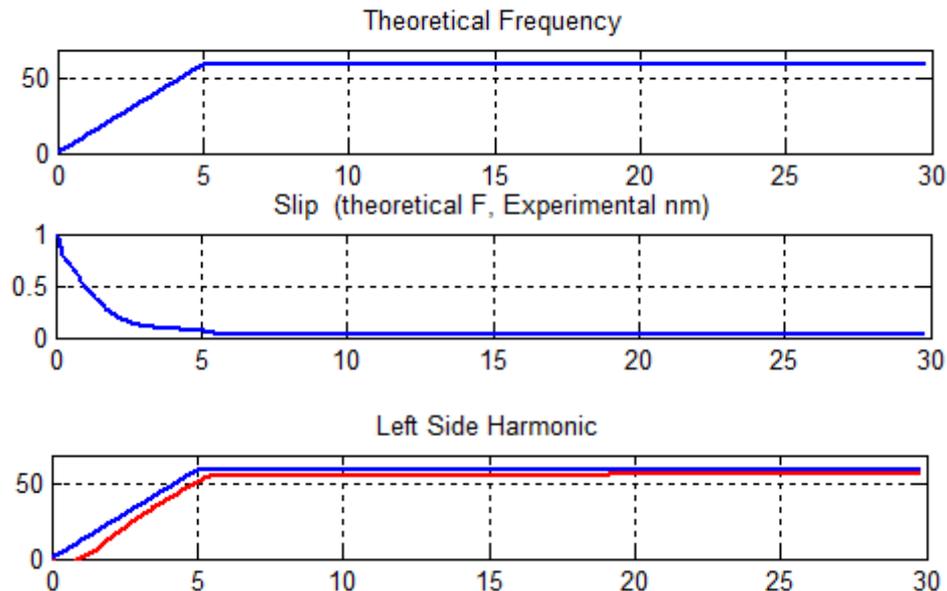
Deteccion de Fallas en Estado No Estacionario

MI alimentados por medio de VSD

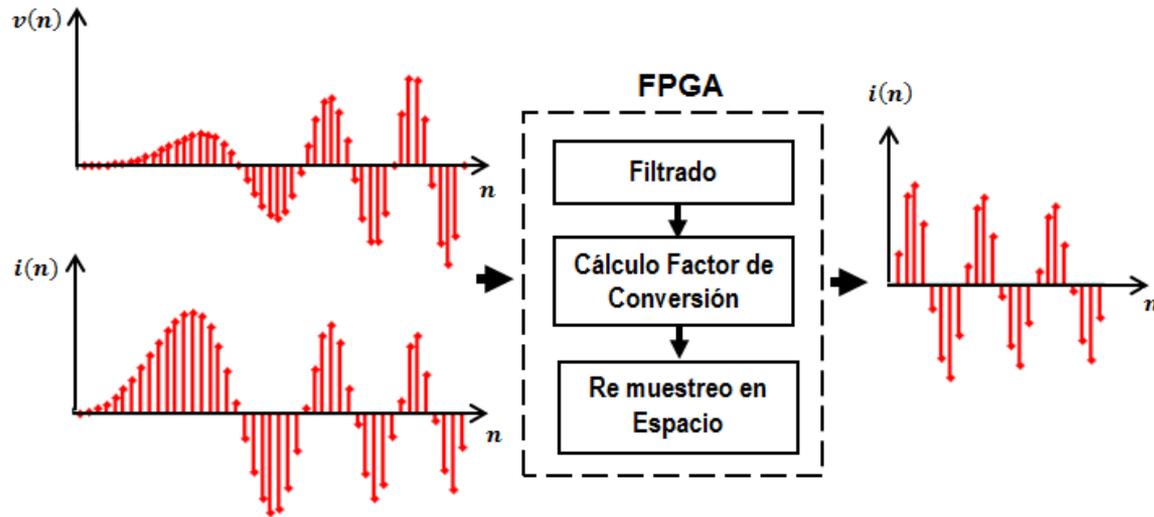
Barra Rota

$$f_{BR} = (1 \pm 2s)f_s$$

left Side Harmonic $f_{LSH}(s) = |(1 - 2s)f_s|$



Muestreo en Espacio



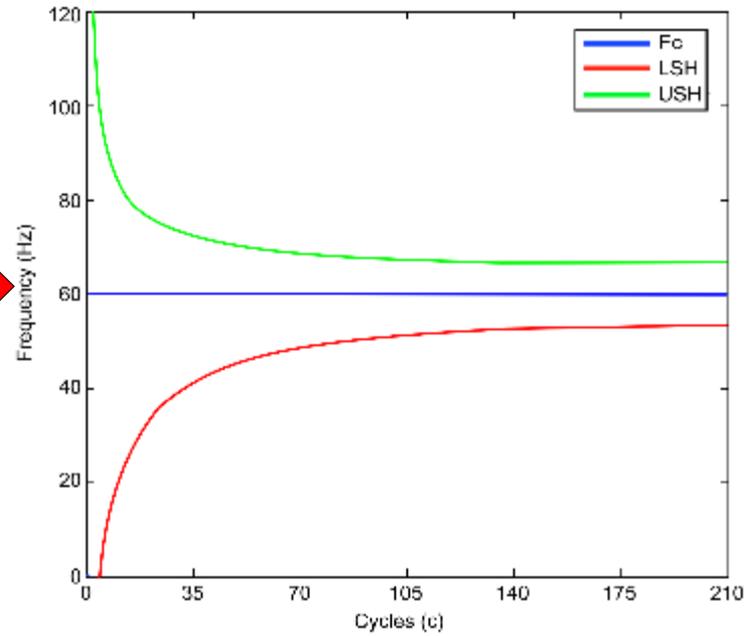
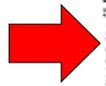
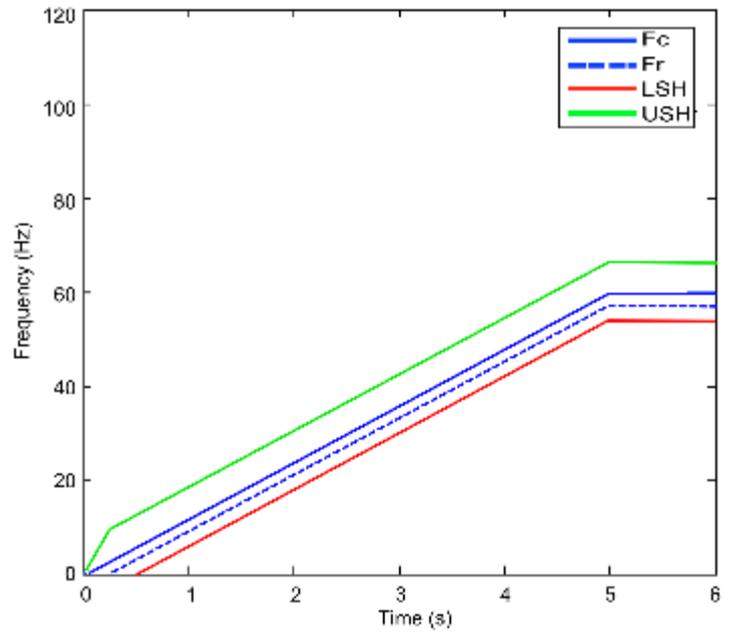
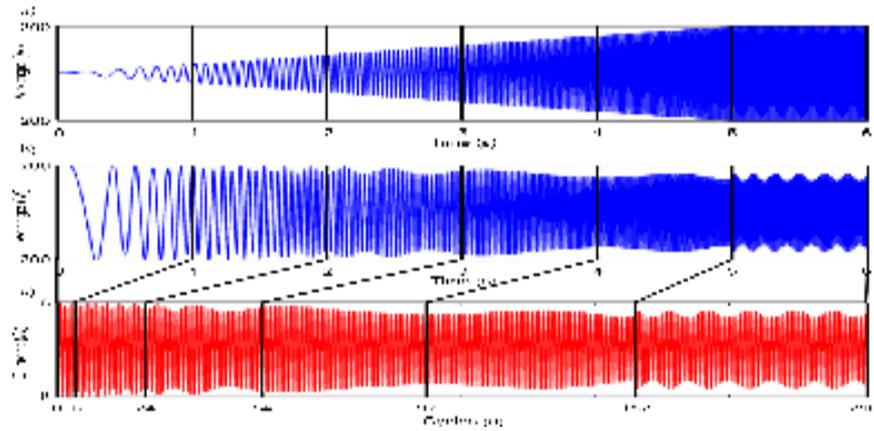
$$f_{supp} = \frac{F(t)}{F_s(t)}$$

$$y(m) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(Mm - kL)x(k)$$

$$f_{LSH}(n) = \frac{F(t)}{F_s(t)}$$

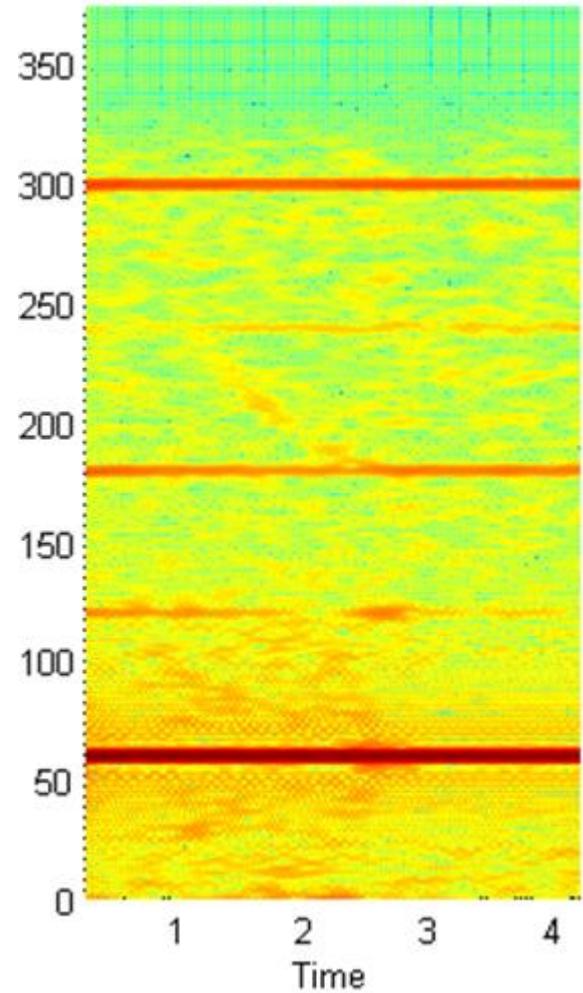
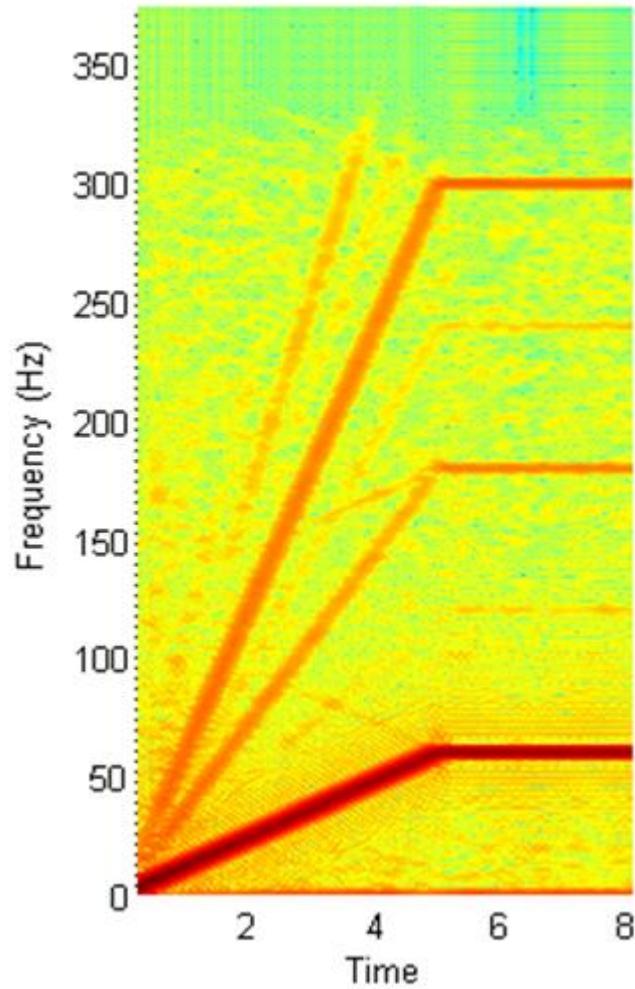
$$Y(e^{j\omega}) = \frac{L}{M} X(e^{j\omega L/M})$$

Efectos del muestreo no uniforme



Análisis Tiempo-Frecuencia

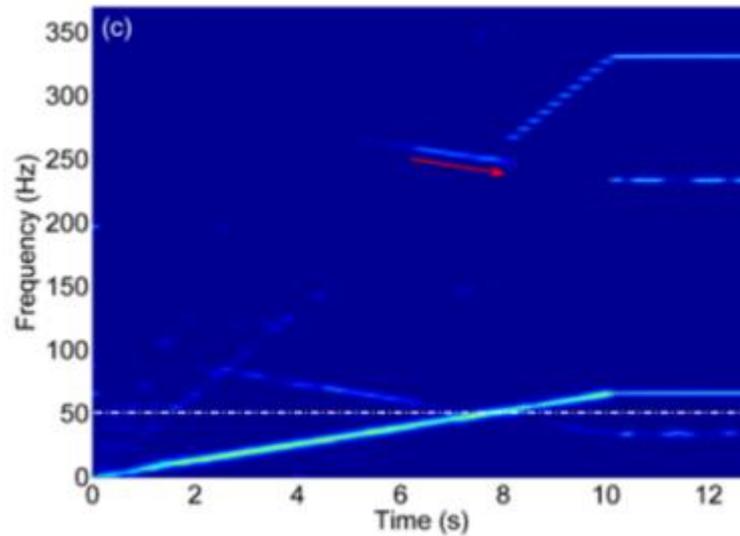
MI alimentados por medio de VSD



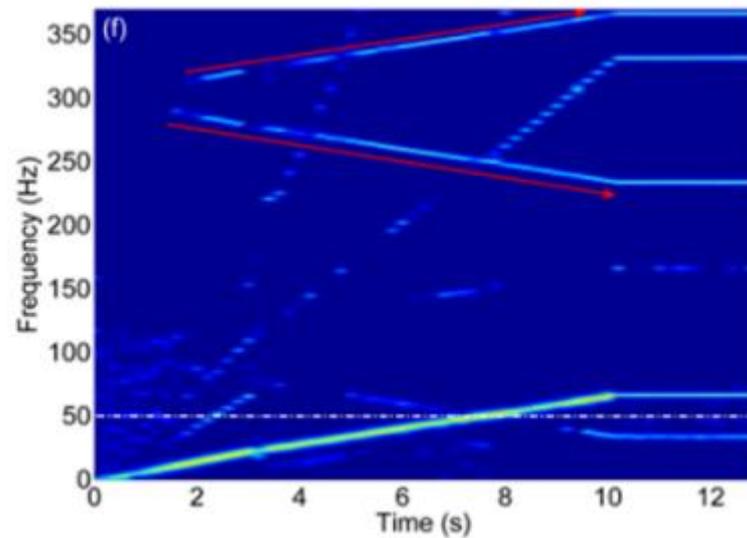
Análisis Tiempo-Frecuencia

MI alimentados por medio de VSD
Muestreo uniforme

**Motor
Sano**



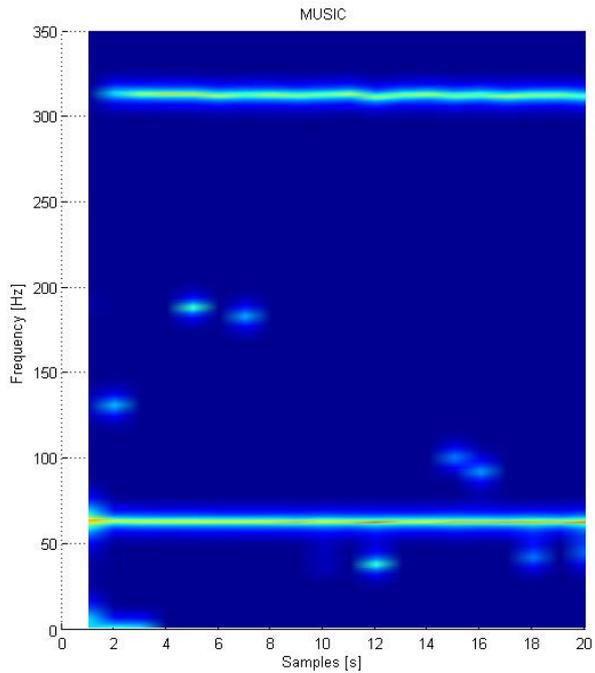
Motor Barra Rota



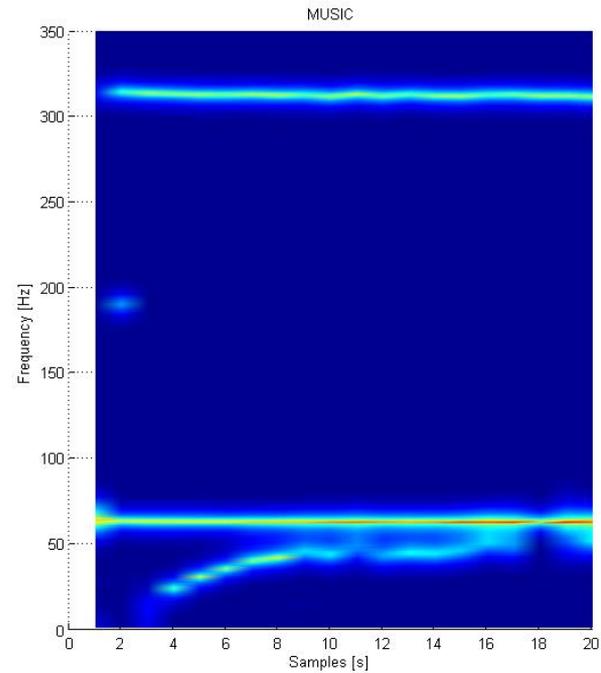
Análisis Tiempo-Frecuencia

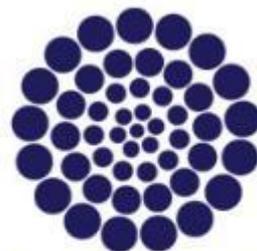
MI alimentados por medio de VSD
Muestreo en espacio

**Motor
Sano**



Motor Barra Rota





CONACYT

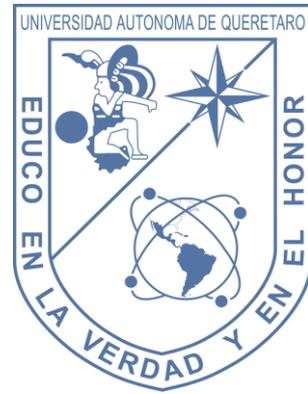
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

No. Becario: 572940

No. de Apoyo 401494



Universidad de Valladolid
Centro «Tordesillas»
de Relaciones con Iberoamérica



David Elvira Ortiz, Universidad Autónoma de Querétaro

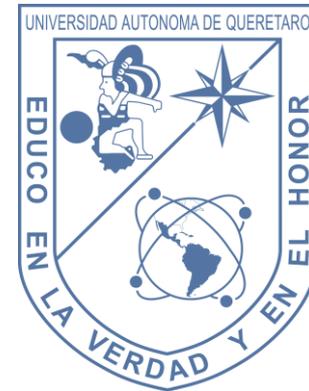
“Monitoreo de calidad de la energía en sistemas de generación alternativa”

Está realizando una estancia de investigación en el Dpto. de Ingeniería Eléctrica de la UVA con una beca del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México.



Universidad de Valladolid

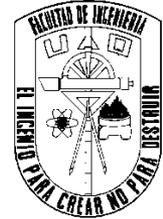
Centro «Tordesillas»
de Relaciones con Iberoamérica





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

Facultad de Ingeniería
Doctorado en Mecatrónica



“Monitorización de calidad de la energía en sistemas de generación alternos”

Presenta:

David Alejandro Elvira Ortiz

Contenido

1. Introducción.
2. Problema a Resolver.
3. Propuesta de trabajo.
4. Agradecimientos.

1. Introducción

Fuentes convencionales de generación



Carbón

- Etapa de Florecimiento.
 - Cerca de llegar a su pico máximo.
- * Abas et al. (2015)



Gas Natural

- Etapa Declive.
- Pico máximo en los 90's.



Petróleo

- Etapa Declive.
- Pico máximo en los 90's.

1. Introducción

Fuentes alternativas de generación



- Fuentes Inagotables.
- Generación libre de emisiones contaminantes.

* Panwar et al. (2011)

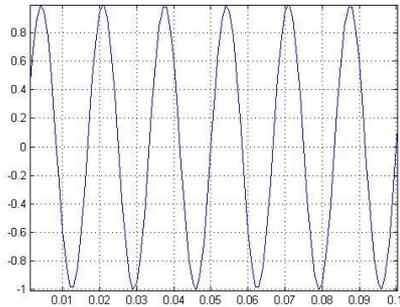


- 20% Energía actual.
- Más del 40% proveniente de aire y sol

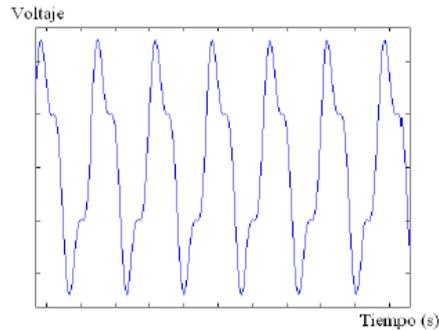
1. Introducción

Calidad de la Energía

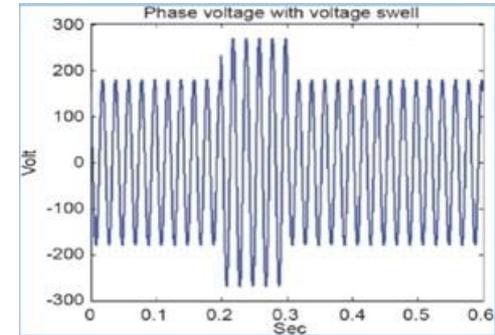
Mantener la forma de onda senoidal de las tensiones y corrientes de la línea de transmisión lo más cerca posible de los valores nominales.



a) Onda senoidal pura

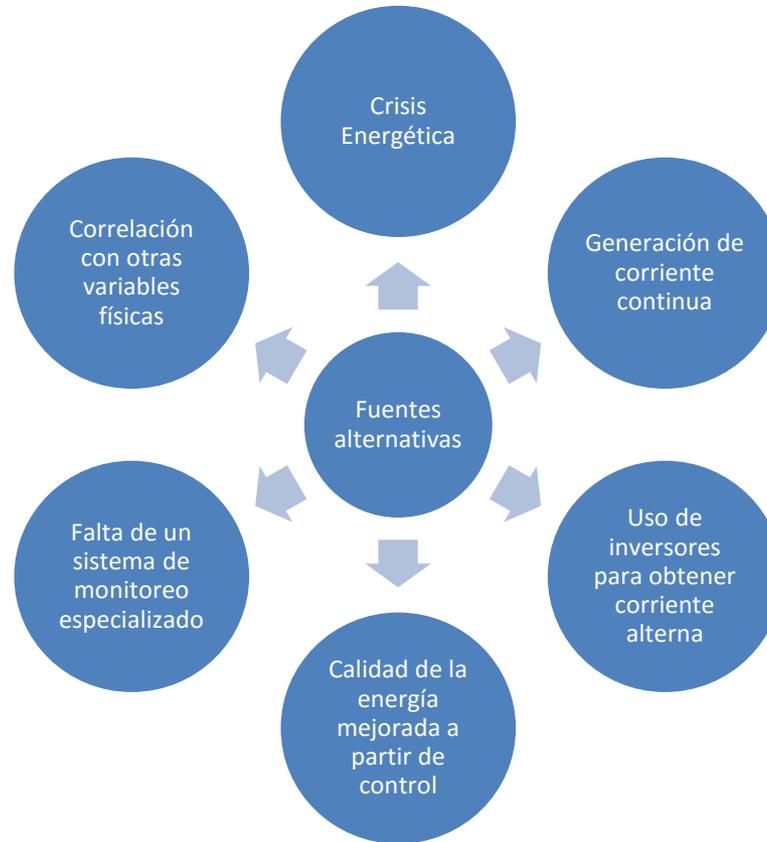


b) Onda senoidal con armónico

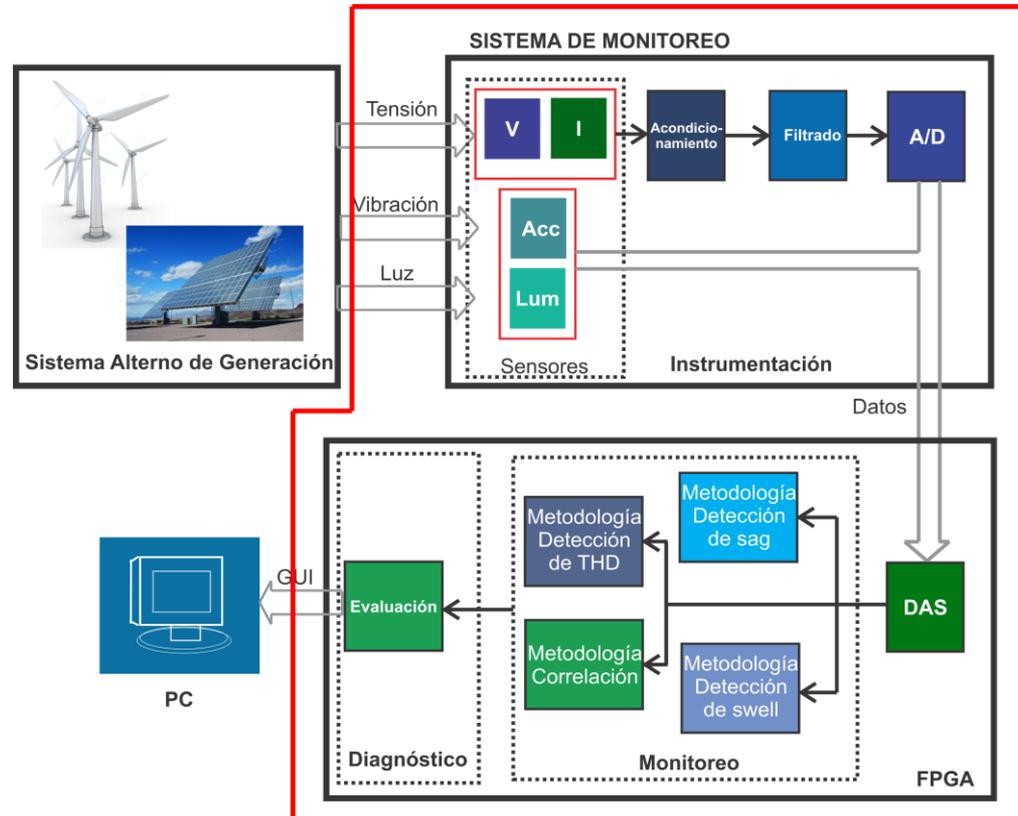


c) Onda senoidal con subida de tensión

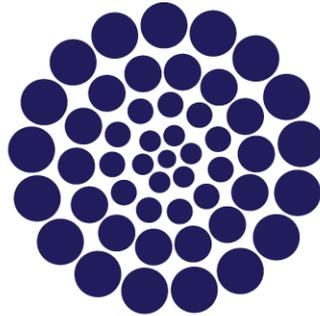
2. Problema a resolver



3. Propuesta de trabajo



4. Agradecimientos



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Este proyecto es financiado parcialmente por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en México a través de la beca 415315



Universidad de Valladolid
Centro «Tordesillas»
de Relaciones con Iberoamérica



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Dr. Daniel Moríñigo Sotelo, Universidad de Valladolid

“Análisis espectral de la corriente del estator para la detección de fallos en motores de inducción”



Análisis espectral de la corriente del estator para la detección de fallos en motores de inducción

Dr. Daniel Moríñigo Sotelo

Departamento de Ingeniería Eléctrica

EL MOTOR DE INDUCCIÓN

El motor de inducción es un elemento esencial dentro del sistema productivo industrial moderno por varias razones:

- Construcción robusta.
- Mantenimiento sencillo.

Podemos clasificar los fallos de acuerdo con la zona en que se producen:

- ✓ Fallos en el estator (cortocircuito)
- ✓ Fallos sobre el rotor
- ✓ Fallos en rodamientos
- ✓ Otros fallos mecánicos



EL MOTOR DE INDUCCIÓN

FUENTE DE ALIMENTACIÓN

RED

INVERSOR
CONVERTIDOR DE FRECUENCIA

Velocidad fija
No es necesario control de velocidad o par
Elevado par de arranque
Sobreintensidad elevada en el arranque:

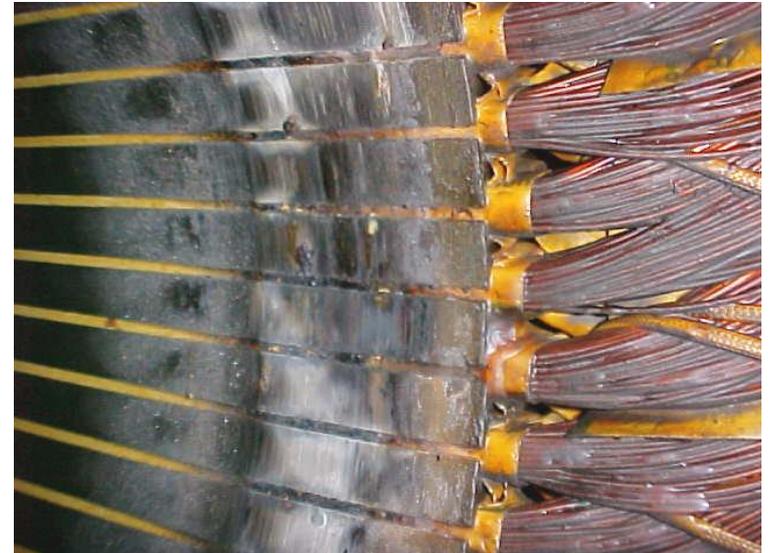
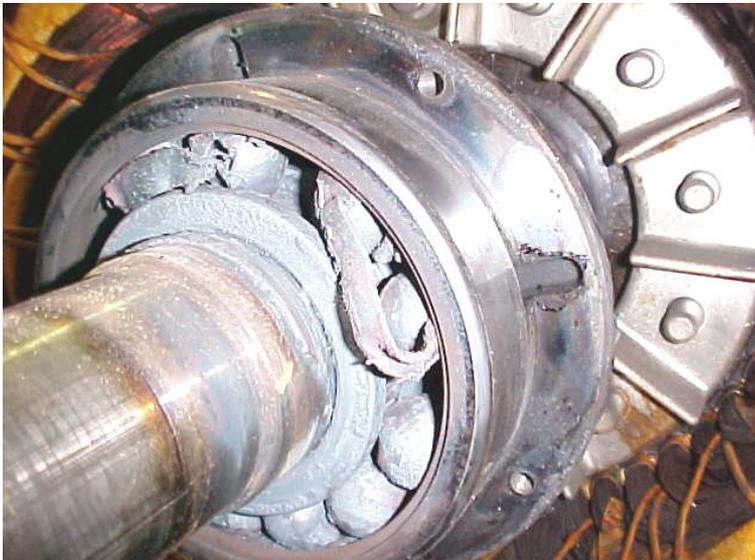
- Arranque Estrella-Triángulo
- Arrancador Suave

Velocidad ajustable
Aplicaciones donde es necesario control de velocidad o par
Eficiente desde el punto de vista energético
Control de corriente en el arranque

FALLOS EN EL ROTOR

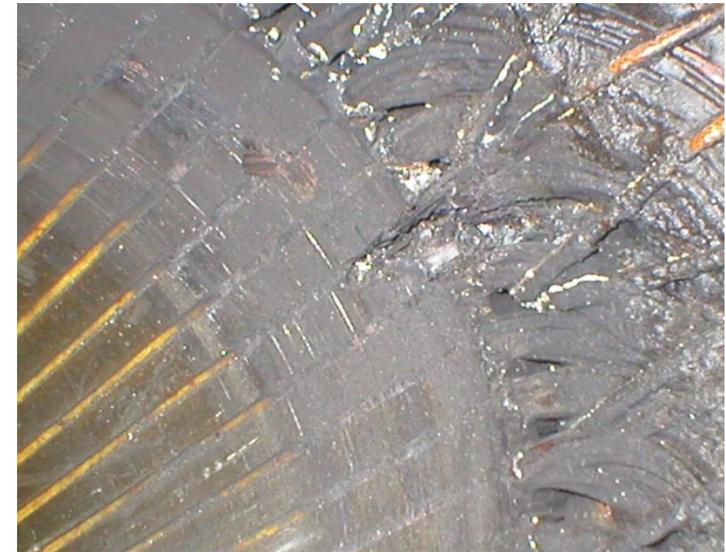


FALLOS EN RODAMIENTOS



FALLOS EN EL MOTOR DE INDUCCIÓN

FALLOS EN RODAMIENTOS

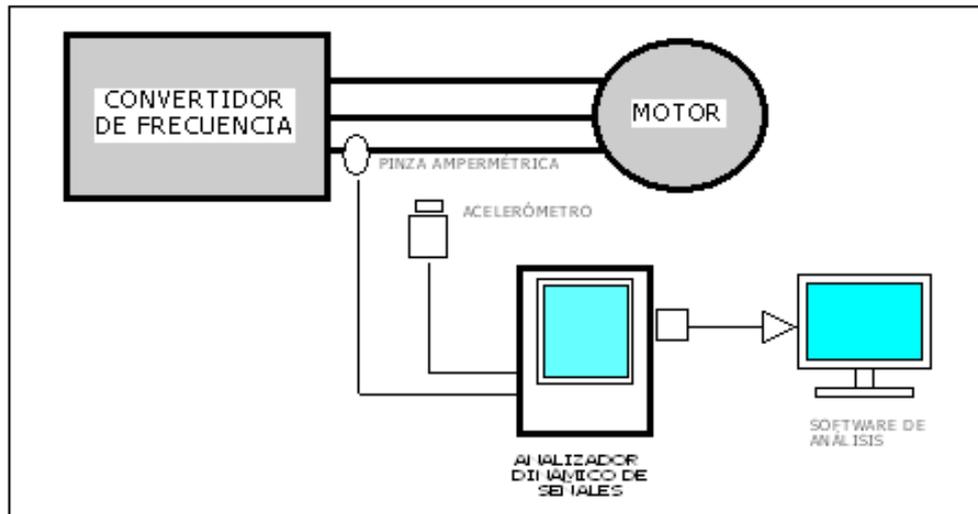


EXCENTRICIDAD



ANÁLISIS ESPECTRAL DE LA CORRIENTE

- Mediante el análisis armónico de la corriente de alimentación se pueden detectar:
- Asimetrías en la jaula: barras rotas, grietas en las barras o anillo de cortocircuito, fisuras en la jaula (especialmente en la unión barras-anillo de cortocircuito).
 - Excentricidades.
 - Desequilibrios.
 - Faltas en rodamientos.
 - Problemas en transmisiones accionadas.



Asimetría Rotórica

$$f_{bb} = f_1 \times (k \pm 2 \times n \times s)$$

Excentricidad Mixta

$$f_{ecc,mixta} = f_1 \times \left(k \pm n \times \frac{1-s}{p} \right)$$

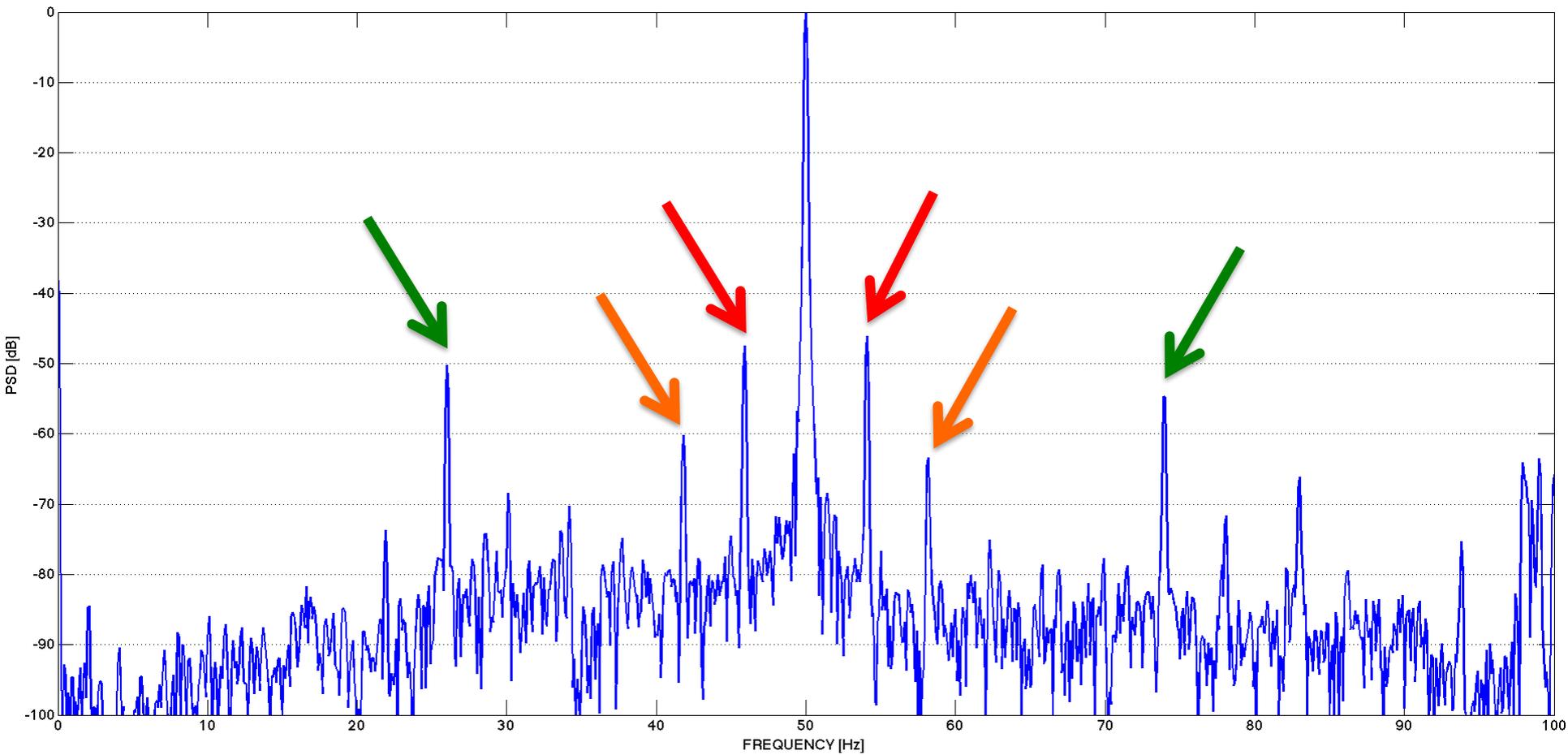
Rodamientos

$$f_{bearing} = f_1 \times \left| k \pm n \times \frac{1-s}{p} \times q \right|$$

$$q = \text{BFPI, BFPO, TFT, BSF}$$

$$f_r = \frac{1-s}{p} f_1$$

RED



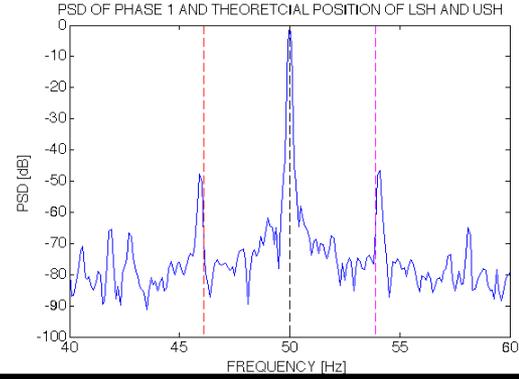
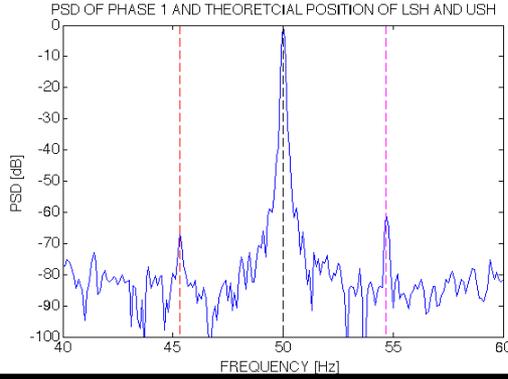
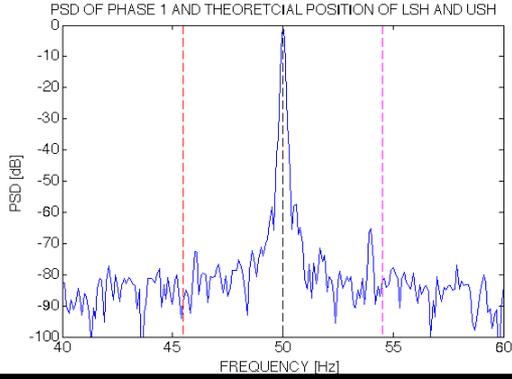
Detección de fallo de barras y excentricidad en estado estacionario

Sano

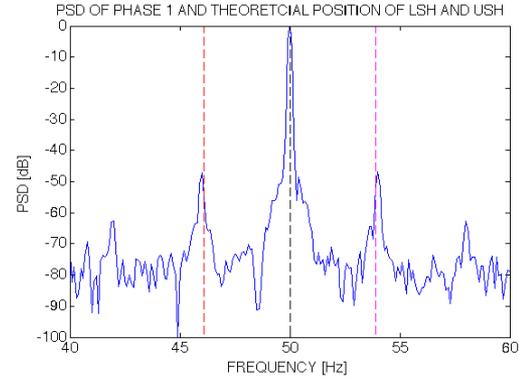
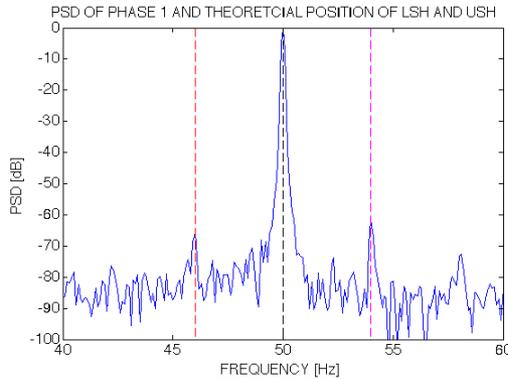
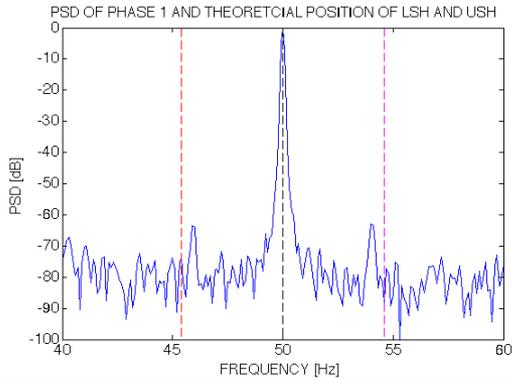
Fallo Intermedio

1 barra rota

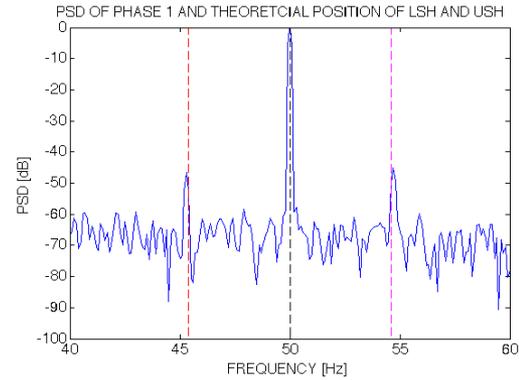
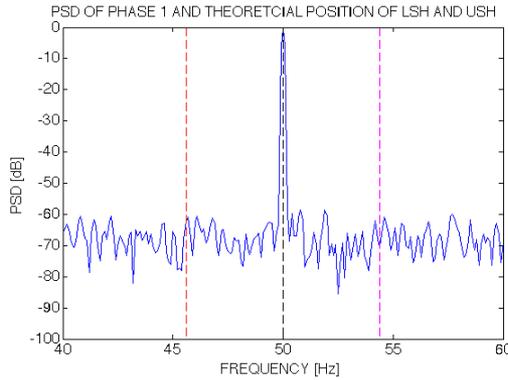
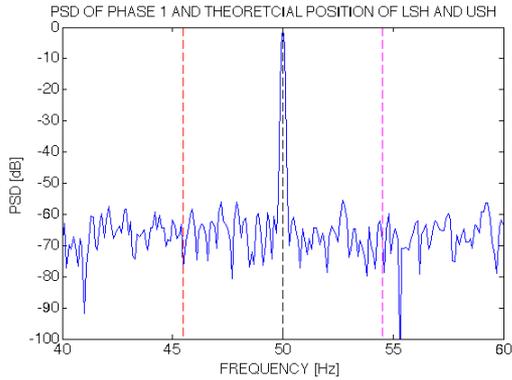
RED



ABB

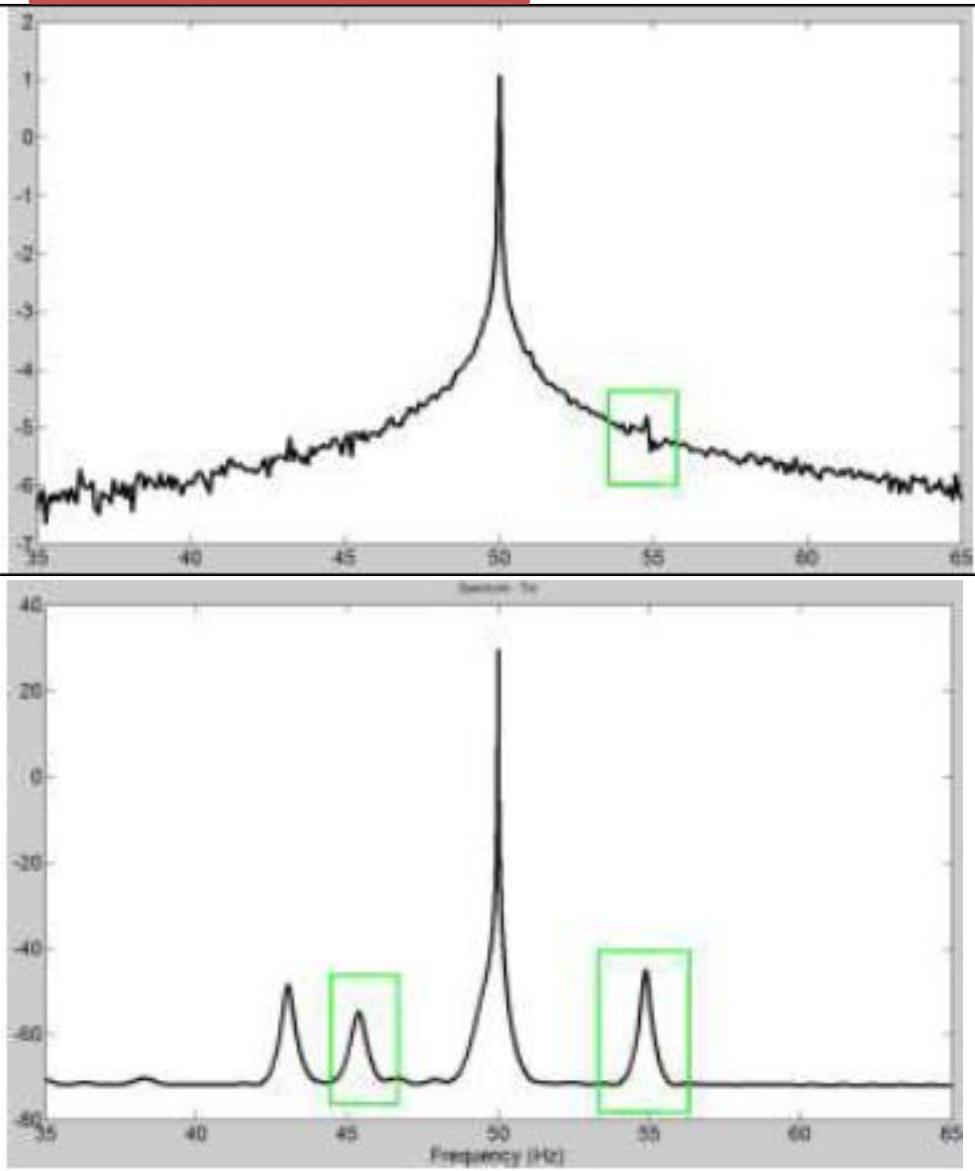
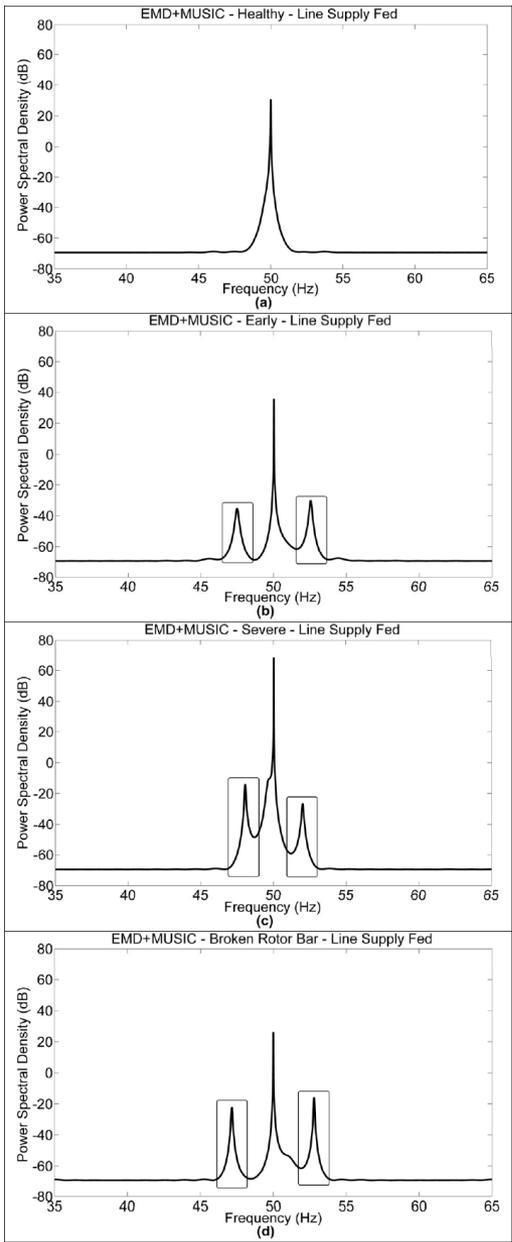


Telemecánica



Detección de fallo de barras y excentricidad en estado estacionario

MUSIC, EMD

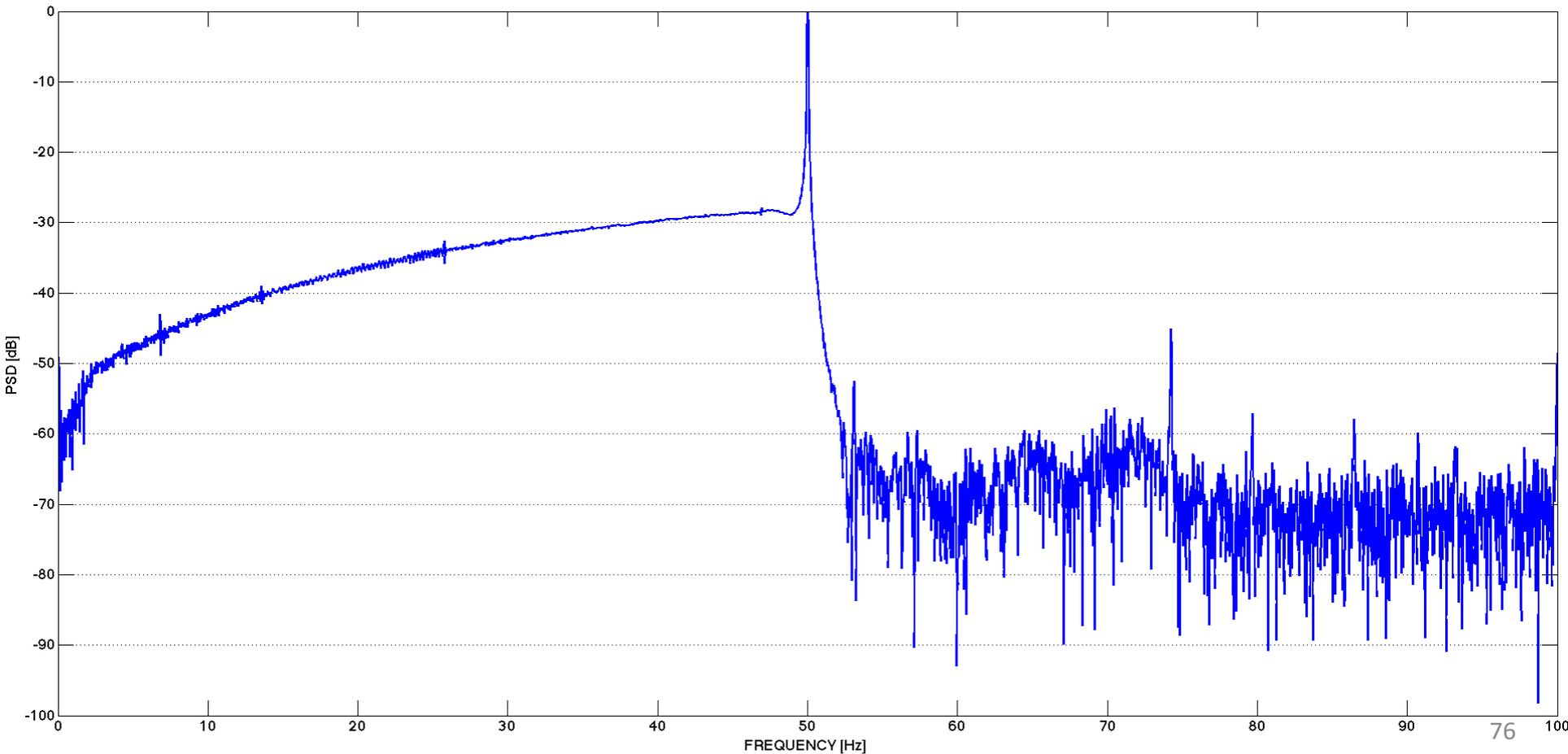


Funcionamiento de motores en estado transitorio

Hay motores que no trabajan en estado estacionario:

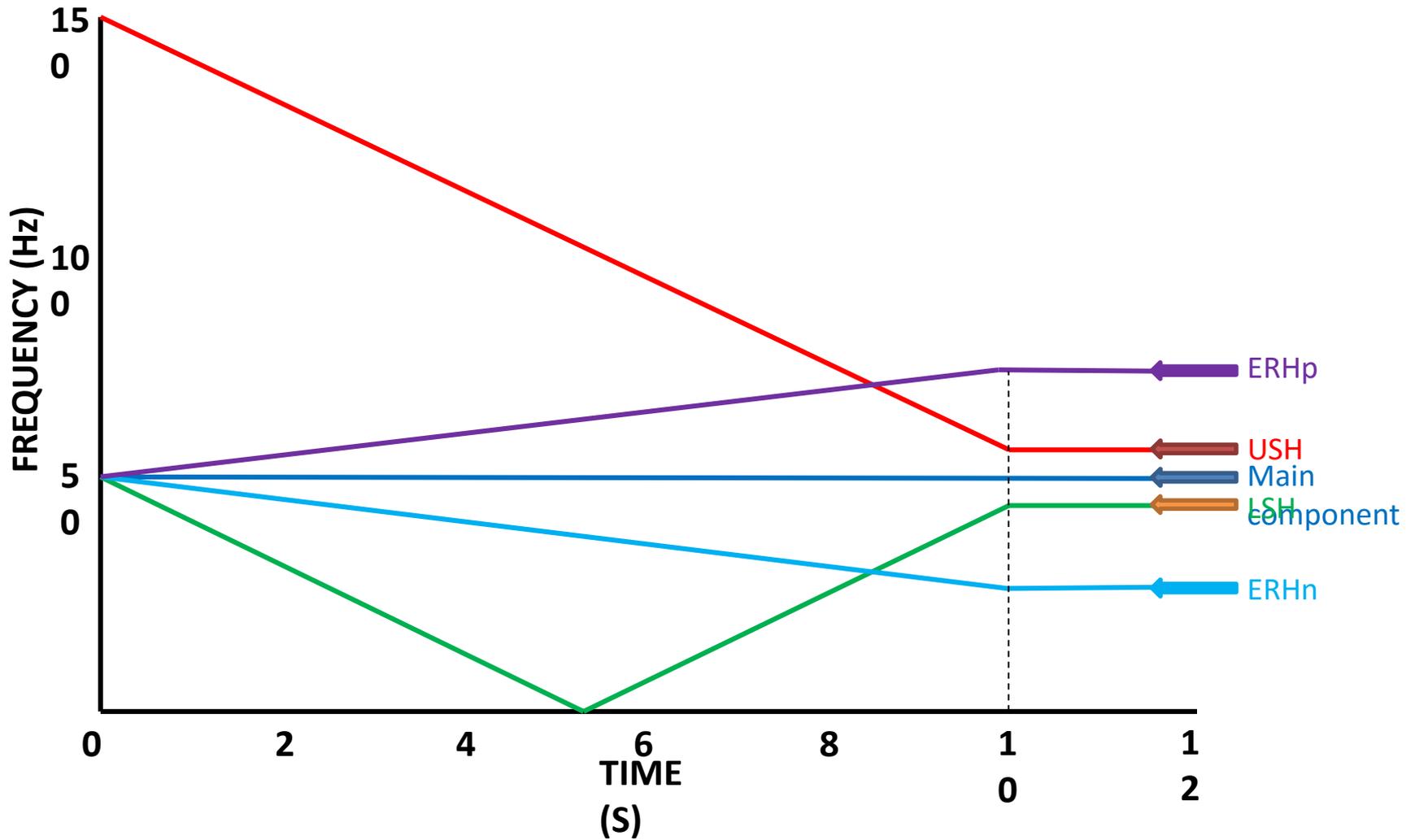
- Arranques frecuentes.
- Carga variable.
- Control de par y/o velocidad.

No se pueden analizar con las técnicas anteriores.

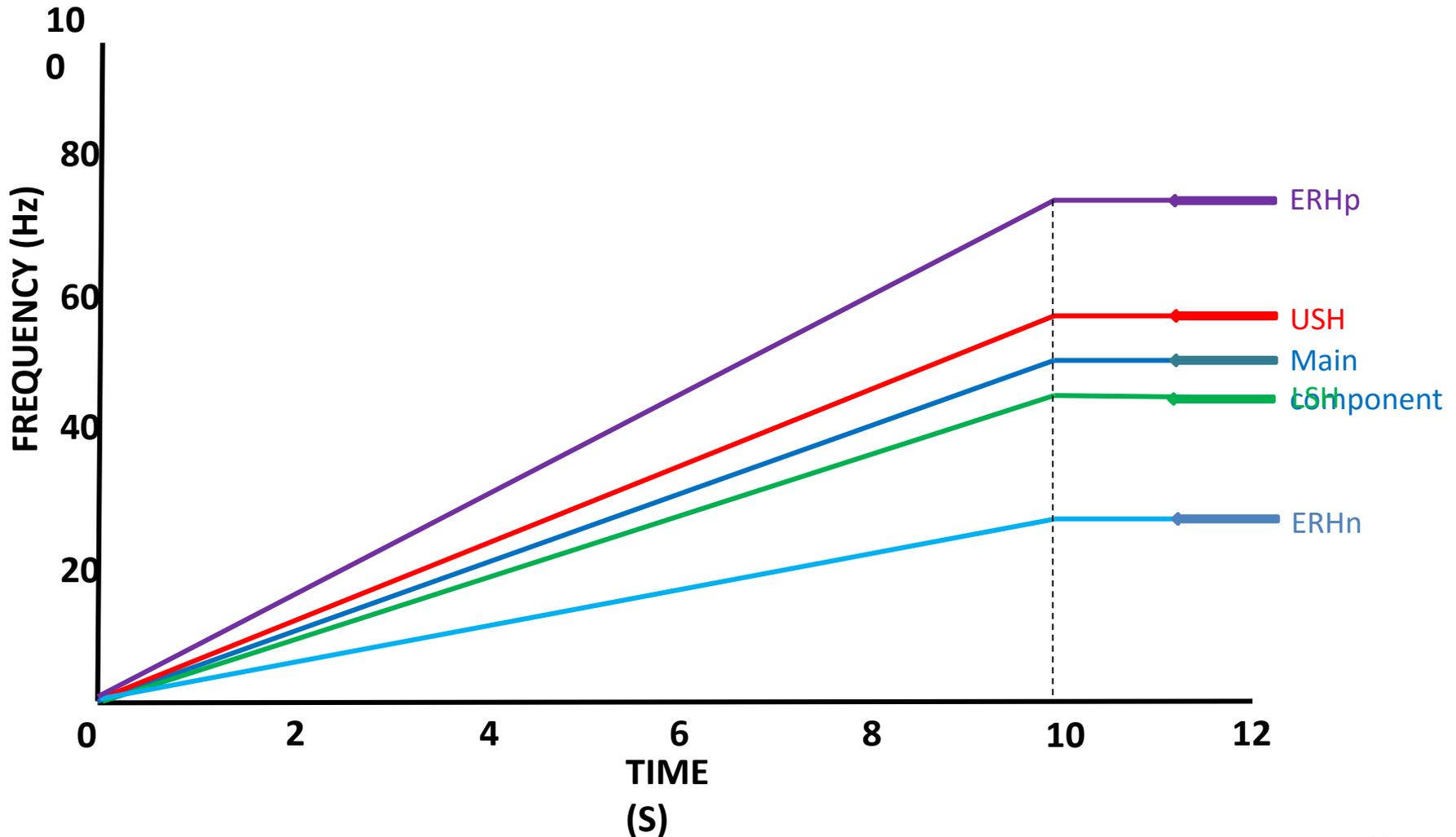


- Para subsanar estos inconvenientes, en los últimos tiempos se han desarrollado técnicas que permiten analizar la corriente de la máquina en régimen dinámico de funcionamiento.
- Estas técnicas se basan en la detección de patrones característicos, normalmente en el plano tiempo-frecuencia, provocados por la evolución temporal de las componentes frecuenciales asociadas a la avería.
- Algunas de estas técnicas son:
 - Transformada corta de Fourier (STFT).
 - Transformada Wavelet Discreta (DWT).
 - Transformada Wavelet Continua (CWT).
 - Distribución de Wigner-Ville (WVD).
 - Correlación con Átomos tiempo-frecuencia.
 - Empirical Mode Decomposition + MUSIC.

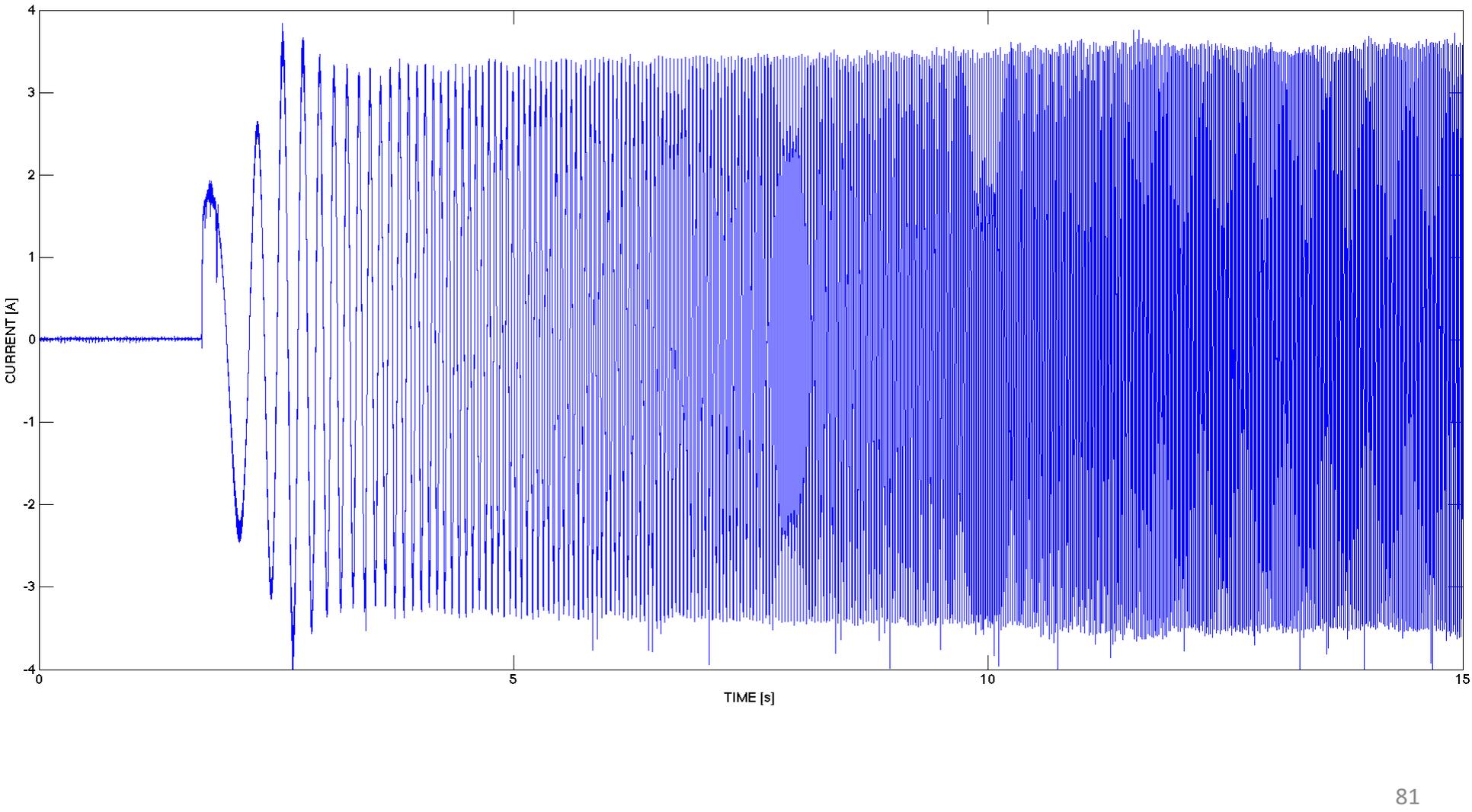
TEMPORAL EVOLUTION OF FAULT HARMONICS LINE-FED INDUCTION MOTOR



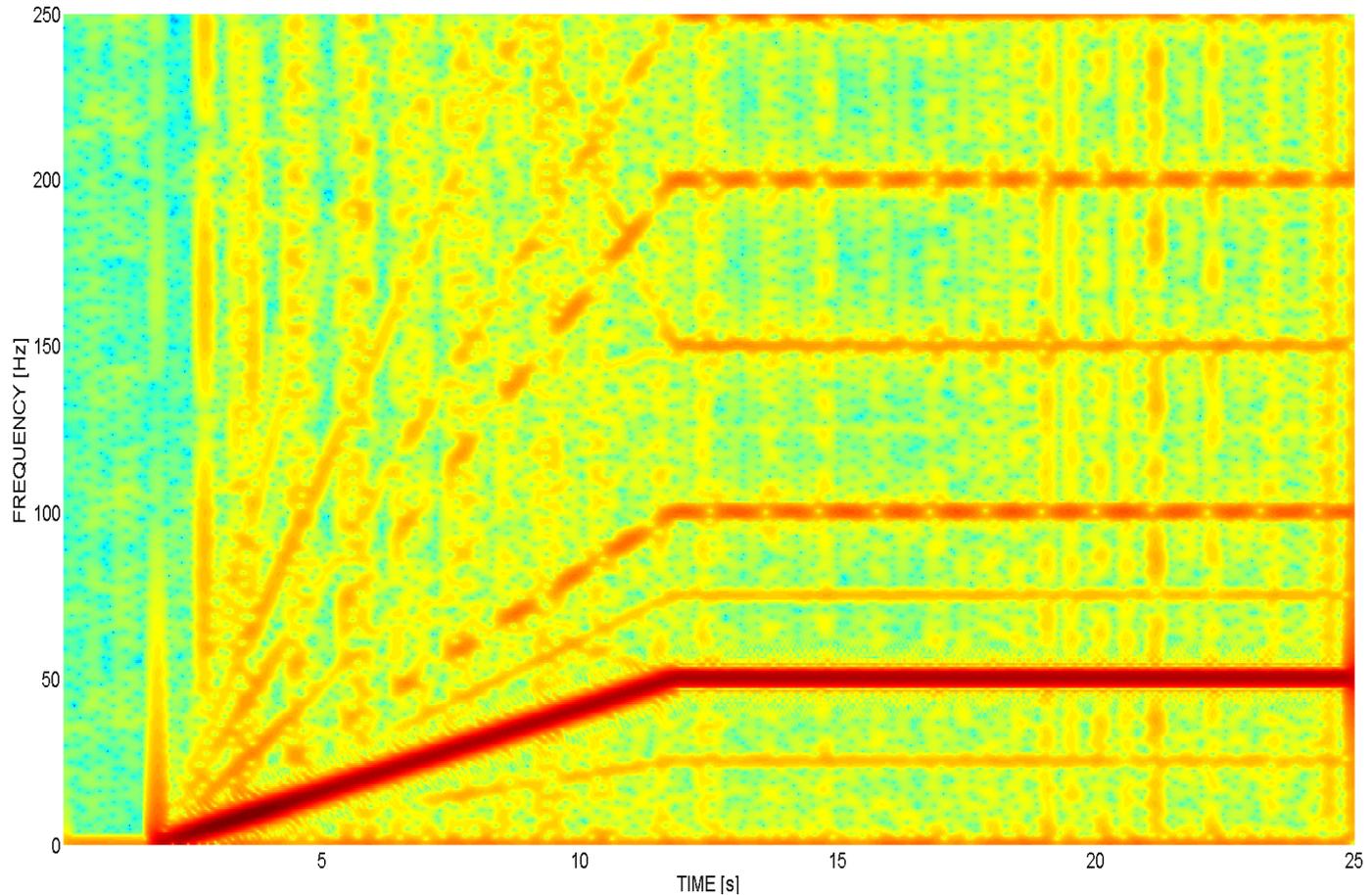
TEMPORAL EVOLUTION OF FAULT HARMONICS INVERTER-FED INDUCTION MOTOR



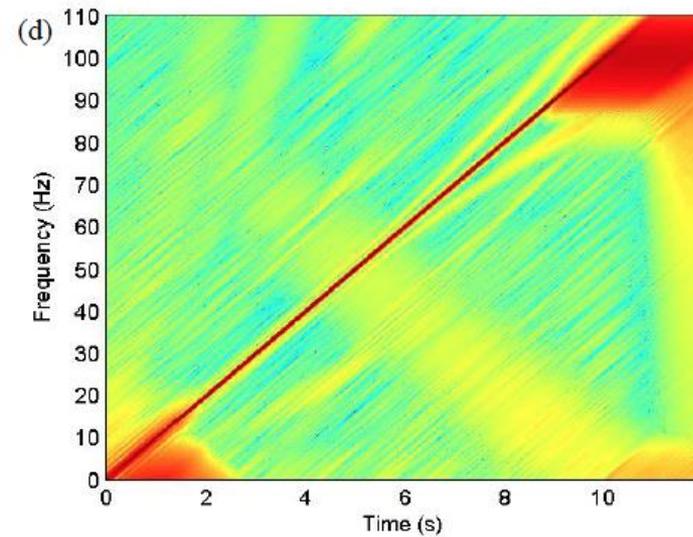
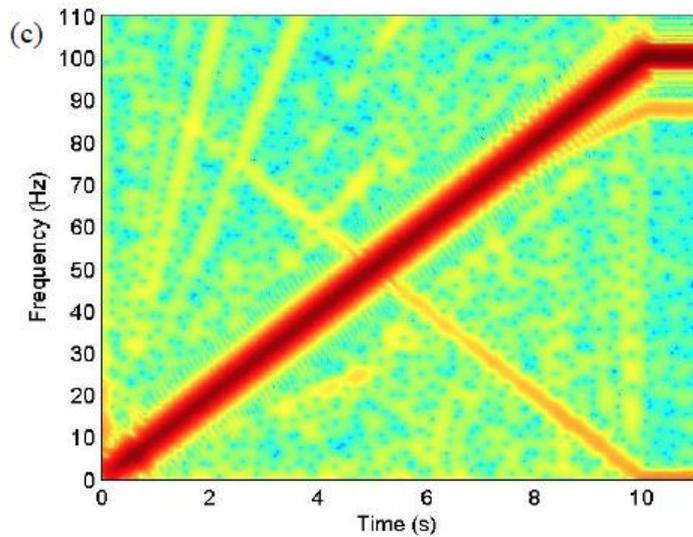
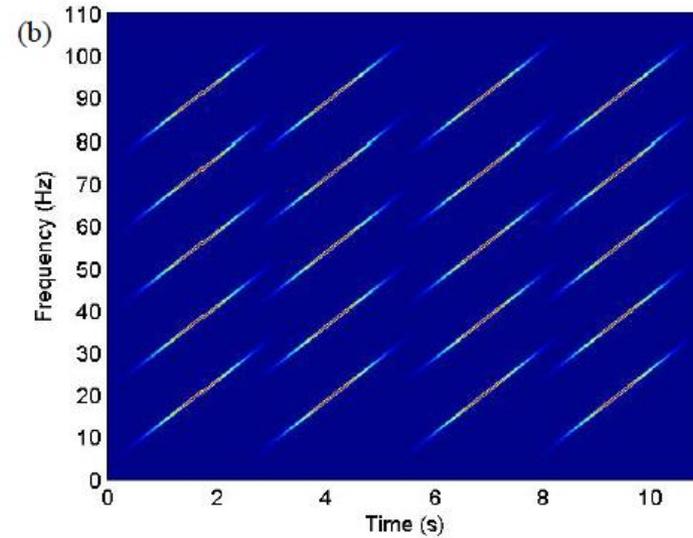
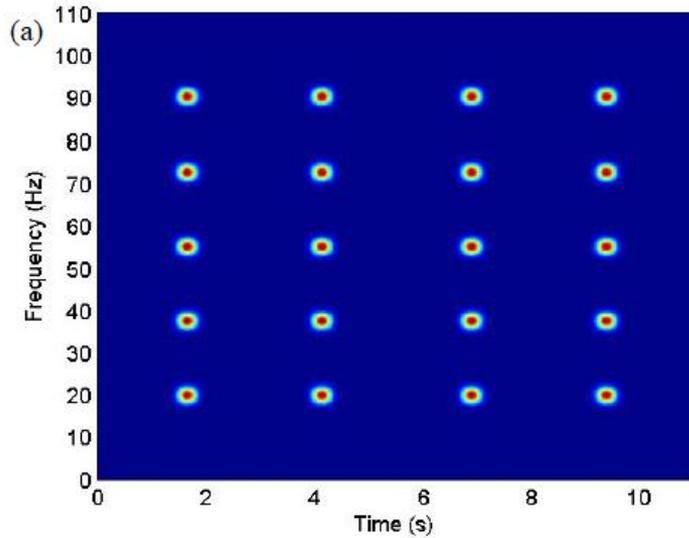
Transformada Corta de Fourier (STFT)



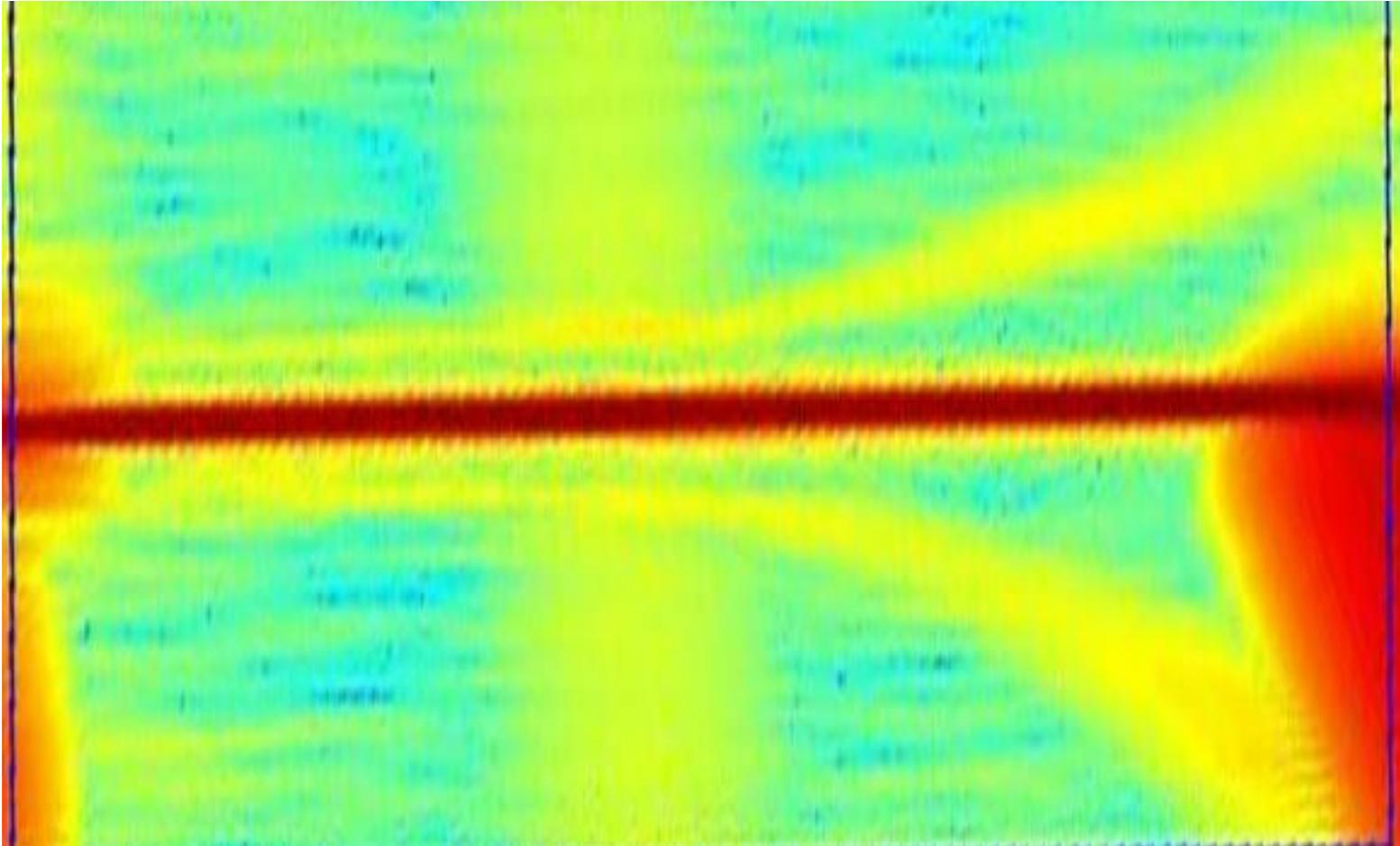
Transformada Corta de Fourier (STFT)



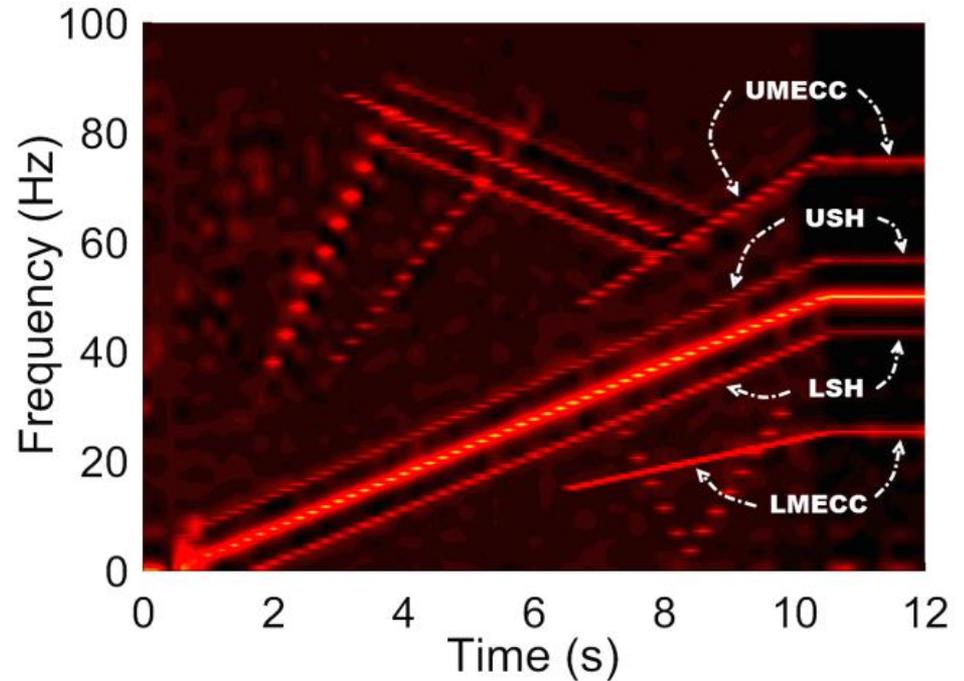
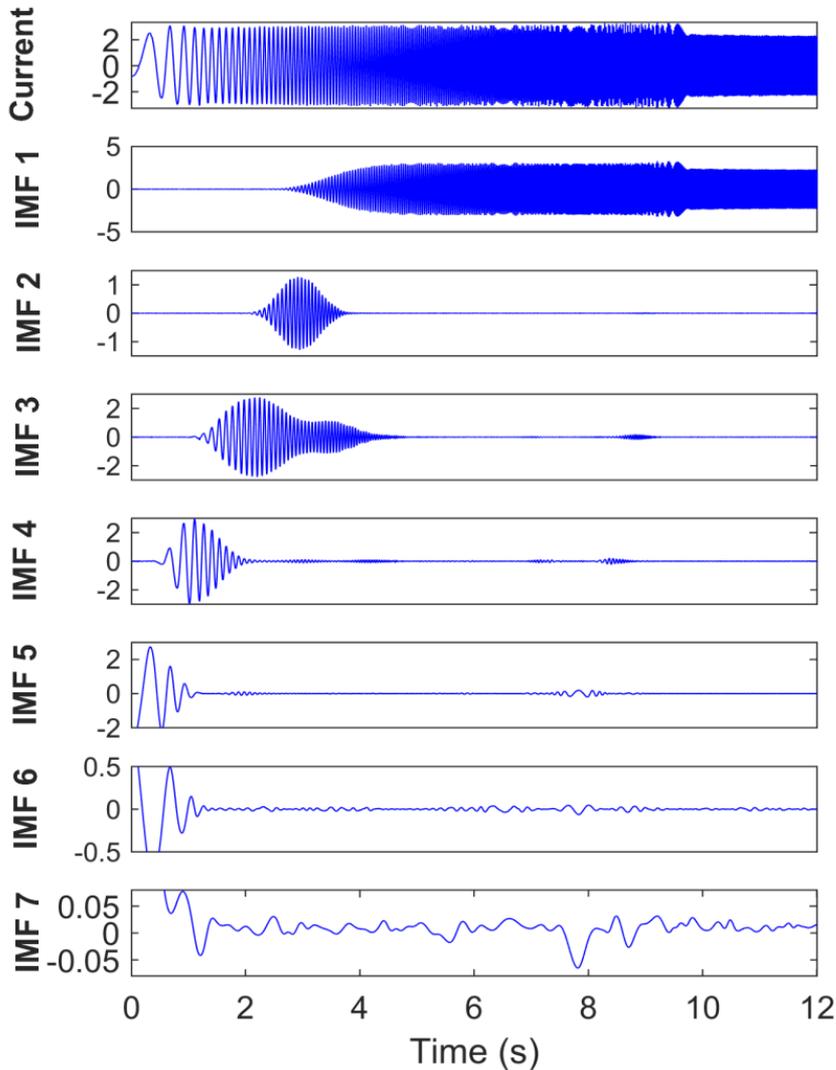
Correlación con Átomos Tiempo-Frecuencia (TFA)



Correlación con Átomos Tiempo-Frecuencia (TFA)



Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition (CEEMD) + MUSIC





CENTRO TORDESILLAS DE RELACIONES CON IBEROAMÉRICA

Tordesillas, Valladolid, España

22 de Junio de 2016