



# Title: Caracterización en línea de la dinámica temporal de señales para el monitoreo del Sistema Eléctrico de Potencia

**Authors:** LEZAMA-ZÁRRAGA, Francisco Román, CHAN-GONZALEZ, Jorge de Jesús, SHIH, Meng Yen y CANTO-CANUL, Roberto Carlos

Editorial label ECORFAN: 607-8695  
BCIERMMI Control Number: 2020-04  
BCIERMMI Classification (2020): 211020-0004

Pages: 13  
RNA: 03-2010-032610115700-14

**ECORFAN-México, S.C.**  
143 – 50 Itzopan Street  
La Florida, Ecatepec Municipality  
Mexico State, 55120 Zipcode  
Phone: +52 1 55 6159 2296  
Skype: ecorfan-mexico.s.c.  
E-mail: contacto@ecorfan.org  
Facebook: ECORFAN-México S. C.  
Twitter: @EcorfanC

[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

Holdings		
Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

# Introducción

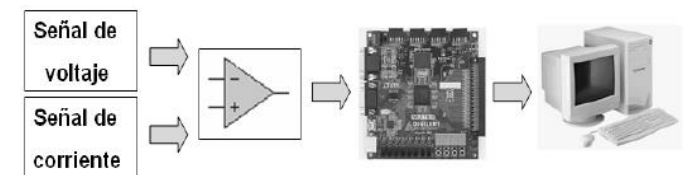
La electricidad es la fuerza que mueve al mundo, pero puede resultar peligrosa si no se maneja con responsabilidad y debido conocimiento.

Para que la electricidad pueda ser utilizada por las personas se requieren instalaciones eléctricas que cumplan estrictas normas y reglamentos con el objetivo fundamental de garantizar la seguridad de las personas y sus bienes, así como el adecuado uso de equipos y materiales que se instalen.

Si se desea conocer las condiciones en las que se encuentran los parámetros eléctricos como: tensión, corriente, potencia o frecuencia, se emplean equipos de medición, verificando así la calidad de la energía eléctrica.

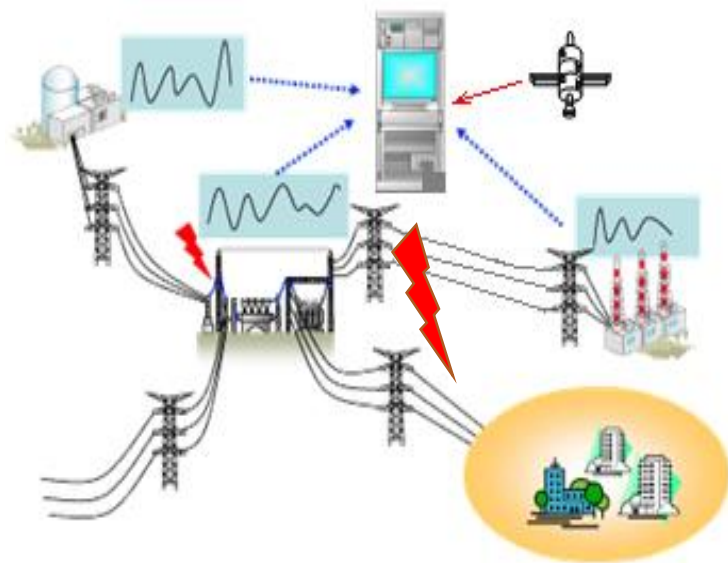
De los equipos de medición se extraen las señales eléctricas de interés en forma de datos discretos (series temporales) y aquí inicia la etapa de análisis y caracterización.

Para una óptima caracterización de señales obtenidas de mediciones es fundamental que el contenido de ruido ambiente sea mínimo y así obtener información relevante de la dinámica de dicha señal. El ruido es un serio peligro en el procesamiento de señales.



# Planteamiento del problema

Fenómenos oscilatorios:



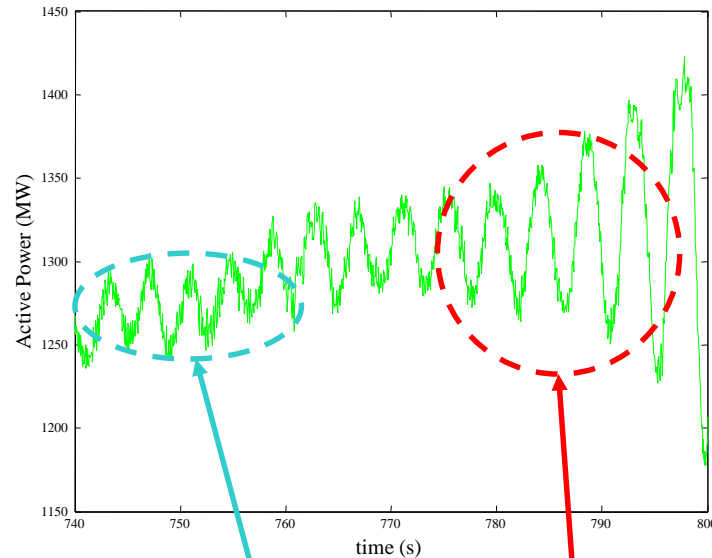
Métodos convencionales ofrecen resultados parciales, no abordan el problema de No-estacionariedad y asumen linealidad. Además presentan problemas para separar modos cercanos.

- ✓ Variaciones de carga aleatoria
- ✓ Cambios temporales en el comportamiento no lineal del sistema
- ✓ Cambios planeados en la topología del sistema
- ✓ Ruido ambiente
- ✓ Abruptos cambios debido a perturbaciones:
  - Descargas atmosféricas
  - Malas maniobras

Análisis post-mortem de la respuesta del sistema ante los disturbios : **No hay caracterización completa del fenómeno.**

# Problemática

Las señales provenientes de fenómenos naturales son esencialmente NO LINEALES Y NO ESTACIONARIAS.



ruido  
ambiente

inestabilidad

Señal multicomponente

Cambios abruptos originados por perturbaciones

Ruido ambiente

La interacción de los modos dominantes variantes en el tiempo se refleja en forma de oscilaciones

Caracterización del comportamiento oscilatorio no lineal:

- Amplitud  $A(t)$
- Fase  $\varphi(t)$
- Frecuencia  $\omega(t)$
- Amortiguamiento  $\zeta(t)$

# Revisión de trabajo previo

Diferentes técnicas usadas en el estudio de procesos temporales para el análisis de datos medidos.

Descomposición en el espacio tiempo-frecuencia:

## Análisis Prony

$$\Delta x(t) = \sum_{k=1}^L B_k e^{\lambda_k t}$$

## Proyecciones

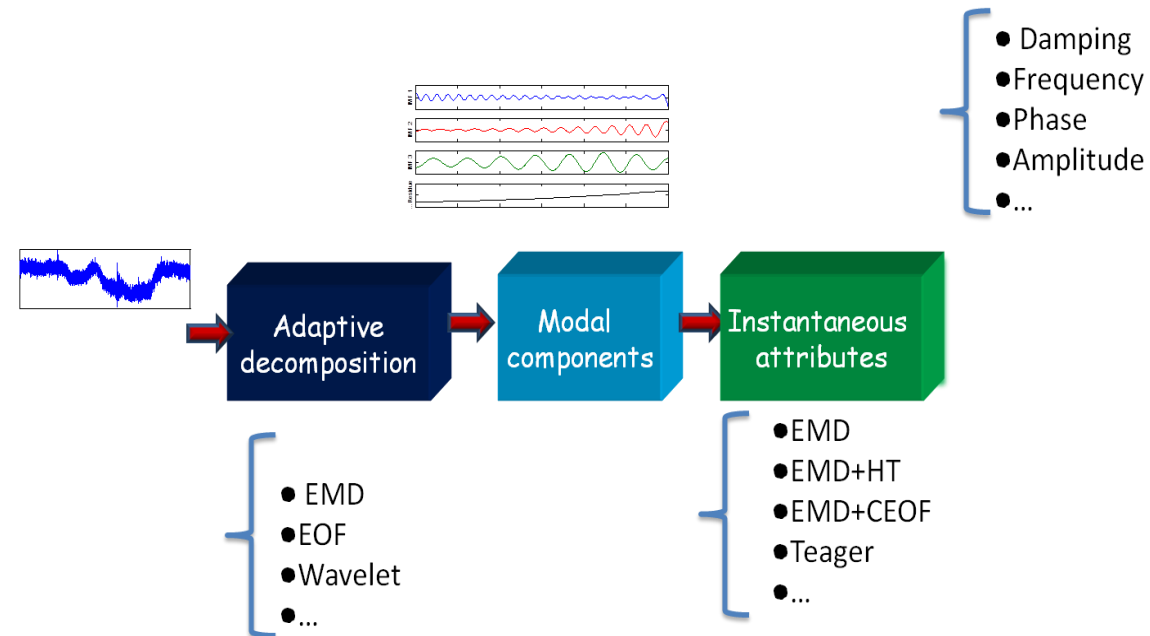
basadas en wavelets

$$x(t) = \sum_{j=1}^{J_0} d_j(t) + s_{J_0}(t)$$

Operador de energía no lineal: Operador Teager

$$\Psi_c = [\dot{x}(t)^2] - x(t)\ddot{x}(t)$$

$$\Psi_d = x^2(n) - x(n+1)x(n-1)$$

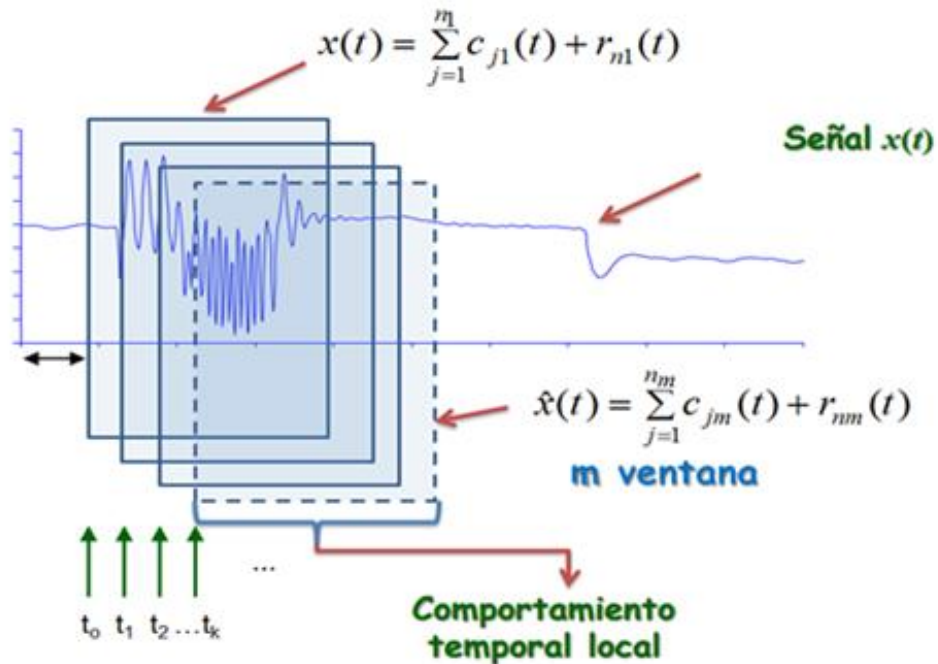


## Descomposición modal: EOFs

$$z(x, \tau) = \sum_{k=1}^n f_k(x) g_k(\tau)$$

# Enfoque propuesto: HHT = EMD + HT

EMD local. Ventanas deslizantes sobrepuestas.



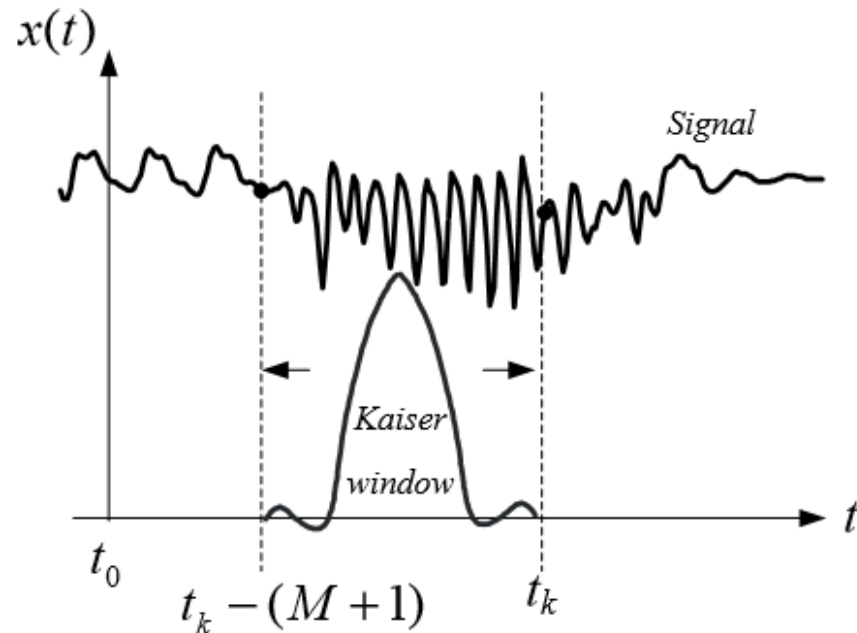
EMD se basa en la representación de una señal medida mediante una suma de funciones casi ortogonales de media cero (IMFs) cuyos coeficientes varían con el tiempo.

$$x(t) = \sum_{j=1}^n IMF_j(t) = \sum_{j=1}^n A_j(t) e^{i\eta(t)t} \cos \varphi_j(t)$$

Cuando la señal es separada en componentes de amplitud y frecuencia modulada se aplica la HT a las IMFs de interés para extraer las características modales.

# Enfoque propuesto:

Transformada de Hilbert (HT). Vía Filtro FIR.



Filtro FIR con ventana de Kaiser

El método de la ventana trunca la respuesta de impulso infinitamente largo multiplicándola por una secuencia finita llamada la función de ventana (Oppenheim & Schaffer, 1980).

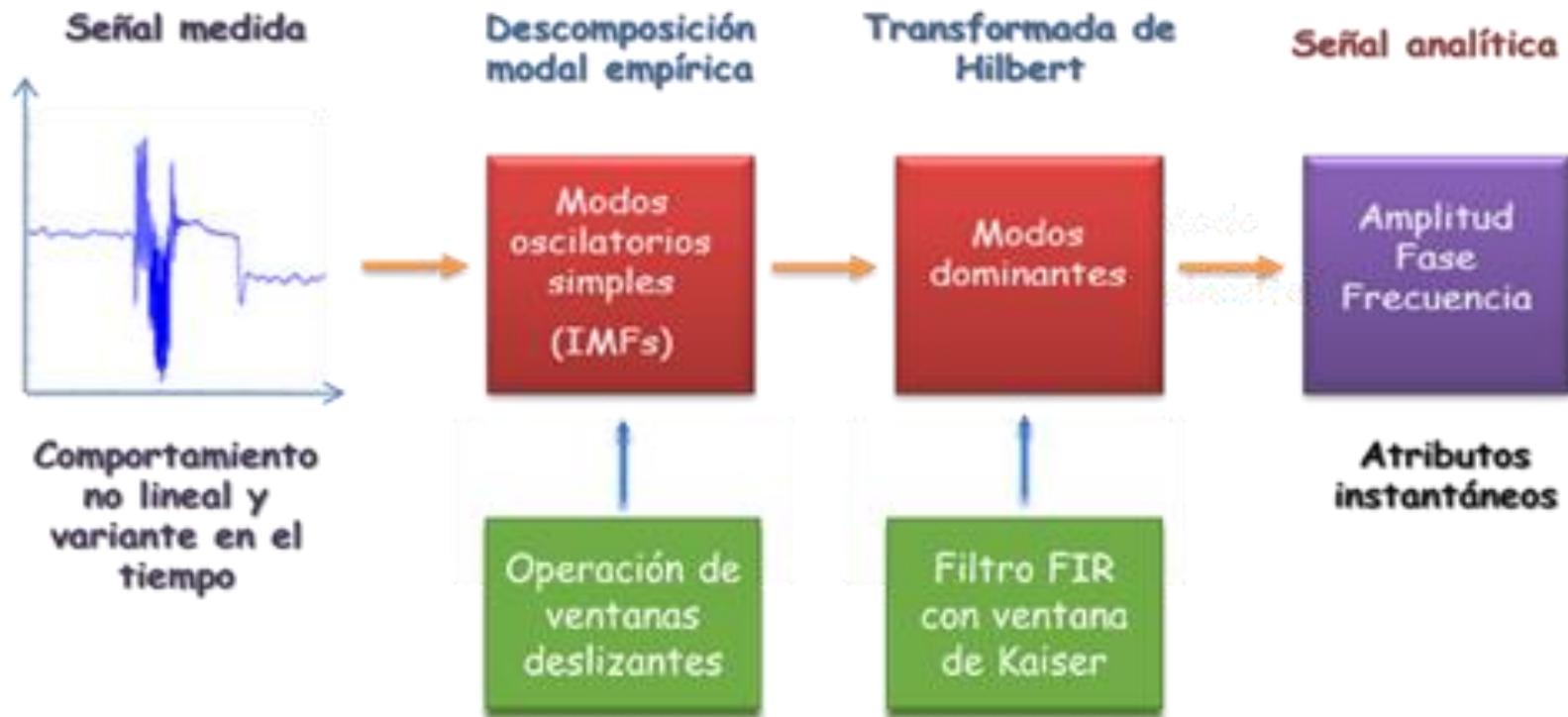
$$h[n] = h_d[n]w[n] = \begin{cases} h_d[n] & 0 \leq n \leq M \\ 0 & \text{de otra forma} \end{cases}$$

En este caso, se usa la función de ventana de Kaiser para la longitud  $M$  del filtro (Kaiser, 1974):

$$w[n] = \begin{cases} \frac{I_0(\beta)\sqrt{1-((n-M/2)/M/2)^2}}{I_0(\beta)}, & 0 \leq n \leq M \\ 0, & \text{otra forma} \end{cases}$$

# Enfoque propuesto

Procesamiento de una señal obtenida de PMU para determinar sus atributos instantáneos



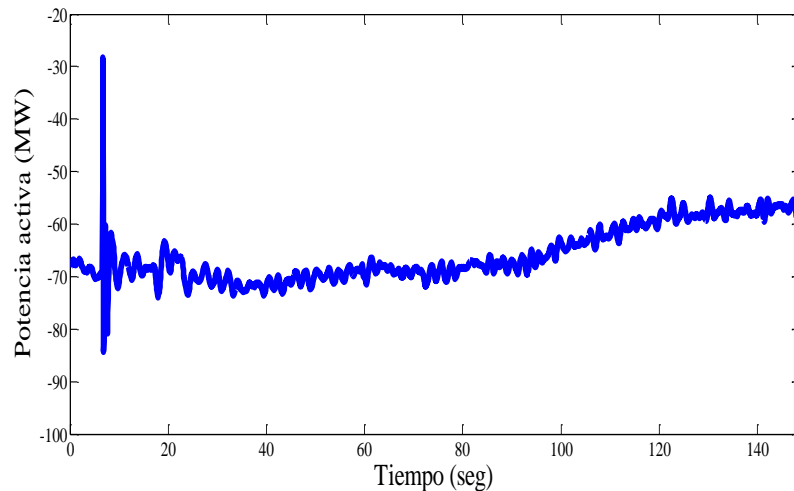
La energía de la señal está dada por:

$$E(t) = \sum_{j=1}^n A_j^2(t)$$

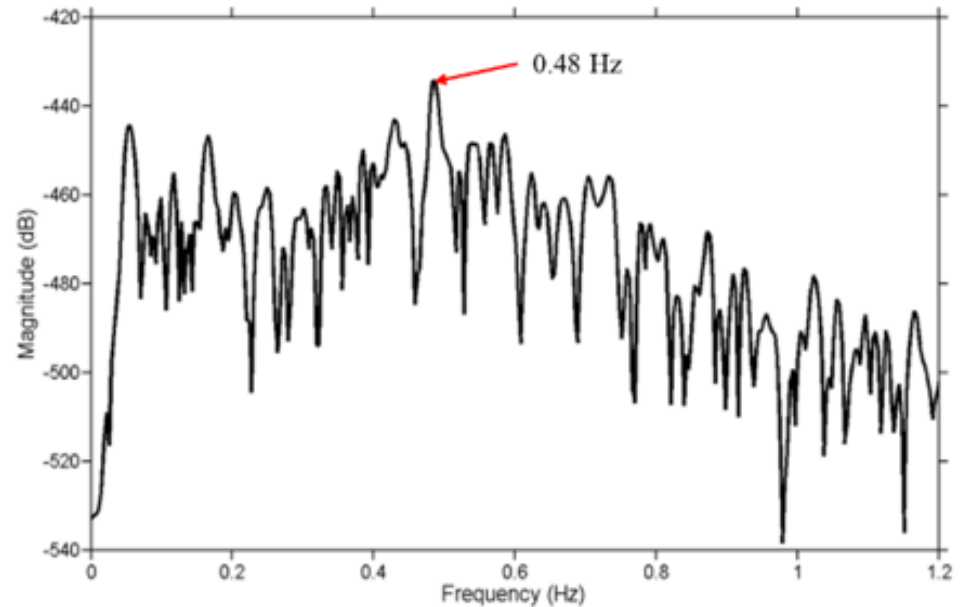


# Señal bajo estudio

Señal obtenida de PMU en una subestación del sureste de México. Las mediciones se registraron durante 148 segundos recorridos a una velocidad de 6 muestras por segundo para un total de 888 muestras.



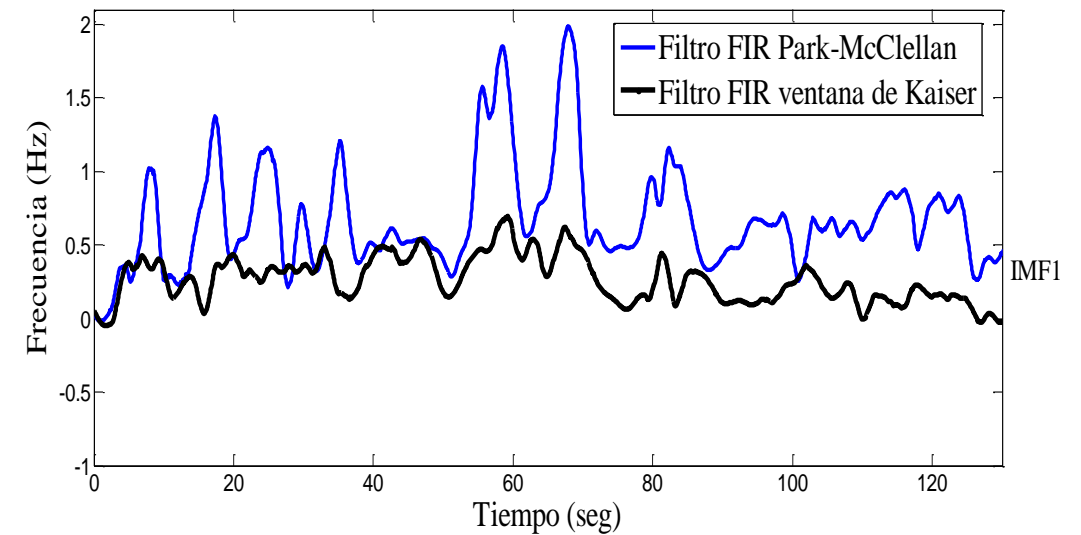
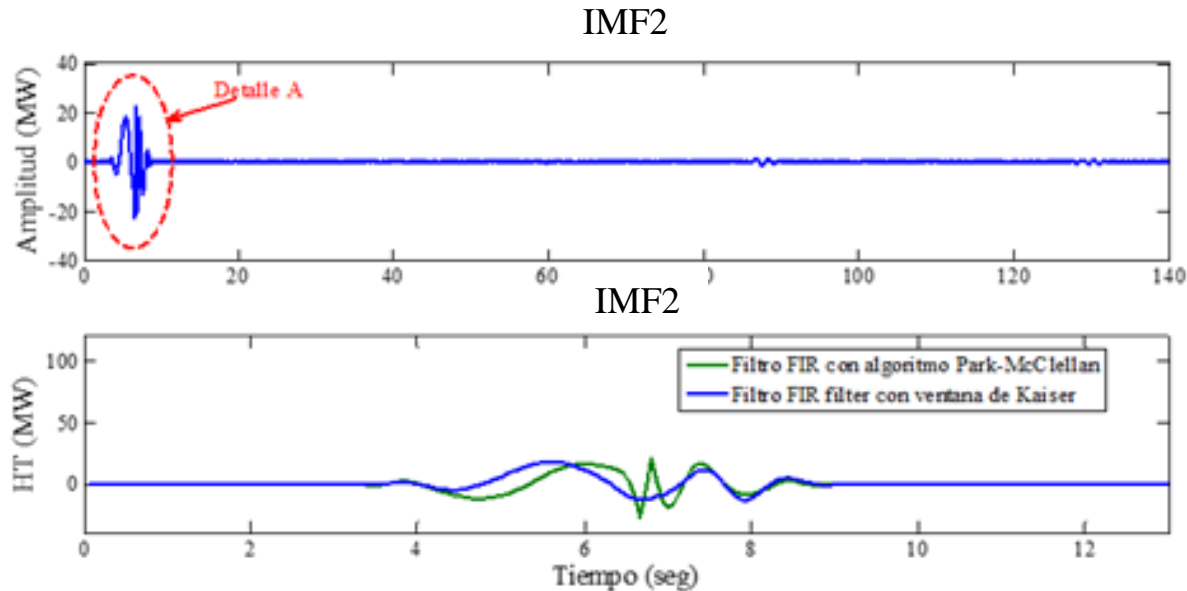
Esta señal muestra una fuerte tendencia y exhibe no linealidades que complican el análisis. El espectro de Fourier para este evento se muestra en la siguiente figura. Se muestra el modo dominante en 0.48 Hz. Se observa una pobre excitación de otros modos de diversas frecuencias en los datos que complican el análisis por ser ruido o pseudomodos.



# Resultados

La técnica propuesta es comparada con la estimación de la transformada de Hilbert utilizando el algoritmo de Park-McClellan tomando todos los datos, sin aplicar ventana deslizante (Parks & McClellan, 1972).

Comparación de la frecuencia instantánea de la IMF dominante entre la propuesta del filtro de ventana de Kaiser y el filtro empleando el algoritmo Park-McClellan.



# Resultados: error rms

---

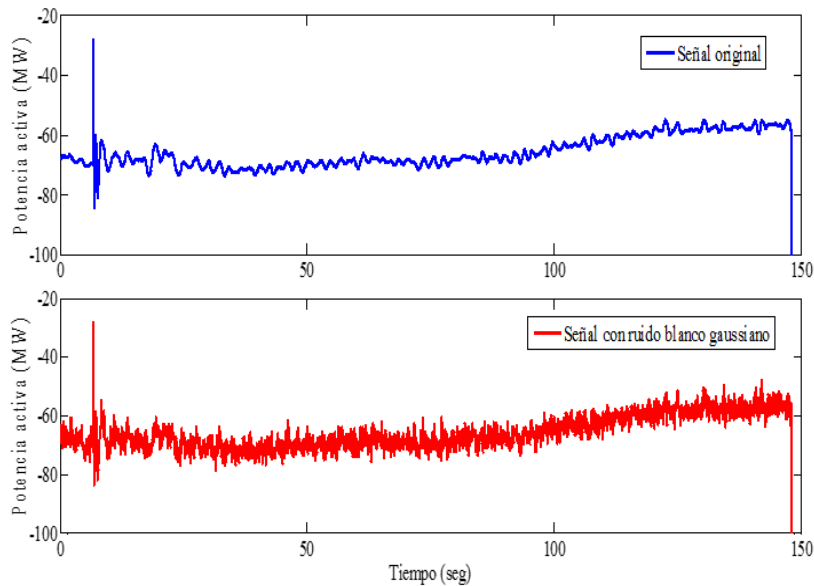
Se evaluó el valor del error rms entre la señal original y señales reconstruidas obtenidas utilizando los cuatro primeros IMFs utilizando diferentes longitudes de la ventana deslizante sobrepuesta, con un traslape de 25% de los datos de cada ventana.

Método EMD	Tamaño de la ventana deslizante (muestras)	Error (rms)
Enfoque convencional (fuera de línea)	Todos los datos medidos	0.1644
Enfoque propuesto (en tiempo real)	50	0.1282
	40	0.1215
	20	0.0543
	6	0.0558

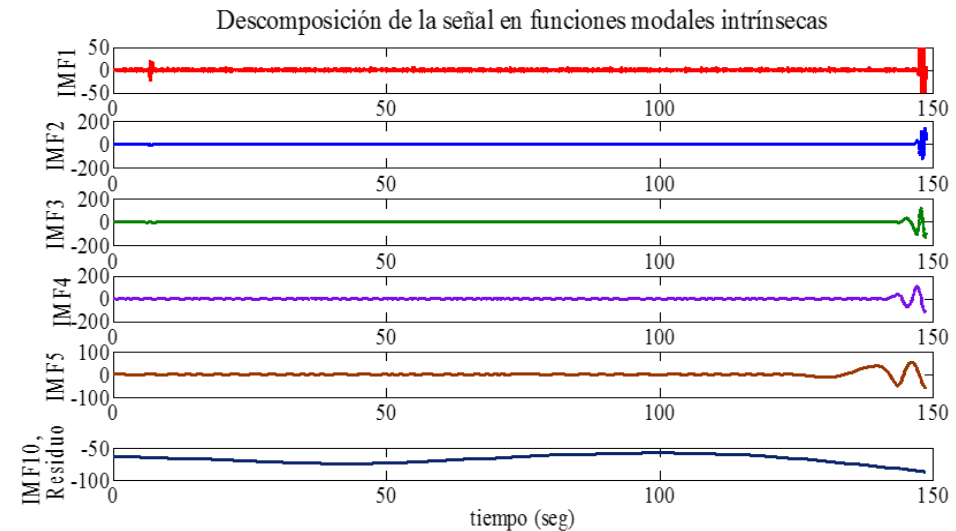
Debido a que el error rms fue menor para la ventana de 20 muestras, el estudio se realizó aplicando esta ventana deslizante.

# Resultados: reducción de ruido

Señal de potencia afectada por ruido blanco gaussiano de 30dB.



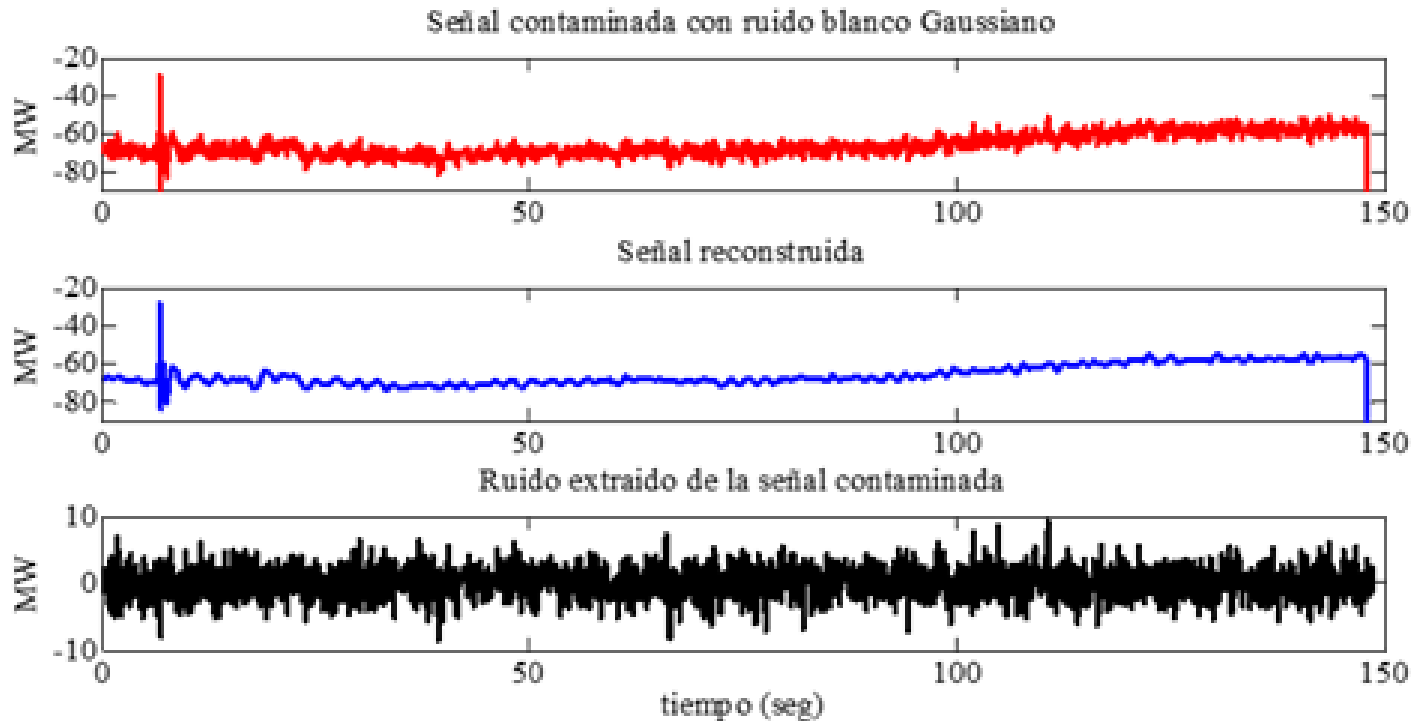
La EMD local proporciona nueve IMFs y un residuo, los cuales están dados en orden descendente de nivel de frecuencia hasta que se llega a una oscilación monótona.



% de Energía Local de cada IMF				
IMF1	IMF2	IMF3	IMF4	IMF5
0.0031	97.6214	0.9923	0.6354	0.2192
IMF6	IMF7	IMF8	IMF9	Residuo
0.1509	0.1398	0.0932	0.0843	0.0604

# Resultados: reducción de ruido

Señal de potencia. Se muestra el ruido extraído de la señal contaminada.



El nivel de ruido eliminado luego del proceso de filtrado es de 29.142 dB (ver figura inferior), por lo que sólo 0.858 dB se quedó en la señal reconstruida.

El valor del error rms de la señal reconstruida es de 0.0635 con respecto a la señal original y el error en la descomposición de la energía  $\epsilon$  es de 0.0237 corroborando que las IMFs son casi ortogonales.

# Conclusiones

---

Los resultados sugieren que las implementaciones en línea (On-line) de la técnica propuesta son más precisas que los basados en la técnica convencional fuera de línea (Off-line) en la cual se toman todos los datos de la señal.

El enfoque propuesto es capaz de eliminar los efectos indeseables no lineales y, además, proporciona una excelente estimación de los atributos instantáneos y una aproximación importante a la señal original a través de la señal reconstruida.

Esta técnica de análisis de tiempo-frecuencia-energía es muy precisa en el análisis de la dinámica local de oscilaciones transitorias y en la reducción de ruido en los sistemas eléctricos de potencia, la cual es posible implementar en análisis de oscilaciones en línea (On-line).

Se espera que el método pueda tener diversas aplicaciones en el área de análisis dinámico, incluyendo la determinación de la inestabilidad y la evaluación en línea del amortiguamiento.



**ECORFAN®**

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- ([www.ecorfan.org/](http://www.ecorfan.org/) booklets)