

ANÁLISIS DEL FENÓMENO DE FLUJO BIESTABLE DE LA CENTRAL NUCLEOELÉCTRICA DE LAGUNA VERDE

Alejandro Núñez Carrera

*Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardia
Doctor Barragán 779, Col. Narvarte, México D.F. 03020, México
anunezc@cnsns.gob.mx*

Elizabeth-J. Martínez-Méndez

*División de Sistemas Eléctricos, Instituto de Investigaciones Eléctricas,
Ave. Reforma 113, Col. Palmira, 62490 Cuernavaca Mor., México
ejmm@iie.org.com*

Gilberto Espinosa Paredes

*División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
Av. San Rafael Atlixco, 186, Col. Vicentina, México D.F., 09340 México.
gepe@xanum.uam.mx*

Contenido

- Introducción
- Antecedentes
- Patrón de flujo biestable
- Características generales en la CNLV
- Metodología
- Resultados
- Conclusiones

Introducción

- En la CNLV se han observado cambios súbitos y aleatorios en el flujo motriz de los lazos de recirculación (de los reactores tipo BWR-5), que originan oscilaciones de potencia.
- Este comportamiento originalmente fue identificado por CFE como el fenómeno de patrón de flujo biestable.

Introducción

- El fenómeno se presenta durante maniobras de ascenso de potencia alrededor del 80% de potencia nominal.
- En este trabajo se presenta un estudio aplicando diferentes técnicas:
 - Transformada de Fourier a tiempo corto,
 - Transformada de wavelets y
 - Análisis lineal en el dominio de la frecuencia.

Antecedentes

- Central Nuclear Pilgrim (CNP).

Seguido de un paro para cambiar la tubería de recirculación, la CNP experimentó fluctuaciones en el flujo del lazo de recirculación (1985).

General Electric atribuyó este comportamiento al fenómeno denominado patrón de flujo biestable, el cual se presenta en el cabezal de las tuberías de descarga del lazo de recirculación.

- Central Nuclear Vermont Yankee (CNVY).

En agosto de 1986, después de cambiar la tubería de recirculación, la CNVY experimentó oscilaciones en el flujo del lazo de recirculación.

El fenómeno también se ha observado en otros reactores, incluyendo un BWR-3, después del reemplazo de la tubería de recirculación y en los nuevos BWR-6.

Antecedentes

- Central Nuclear de Laguna Verde (CNLV).
 - Desde el año 1999, en las dos unidades de la CNLV, se han observado cambios súbitos en los flujos motrices de los lazos de recirculación.
 - En un principio fueron atribuidos a un movimiento del tapón de las FCV's debido a la actuación del sistema de control de recirculación.
 - Análisis posteriores mostraron que las FCV's no presentaron ningún cambio y que los circuitos de recirculación se encontraban bien ajustados y calibrados, por lo que no se logró determinar la naturaleza de los cambios en el flujo motriz.
 - Ingeniería de la planta mencionó la posibilidad de que estos eventos estuviesen relacionado con el descrito en el documento SIL 467 en donde se describe el fenómeno de "Flujo Biestable".

Antecedentes

Eventos de flujo biestable REGISTRADOS EN la CNLV

| UNIDAD | FECHA DEL EVENTO | | |
|--------|------------------|------------|------|
| | DIA | MES | AÑO |
| 1 | 01 | Noviembre | 1999 |
| | 30 | Septiembre | 2000 |
| | 23 | Febrero | 2001 |
| 2 | 08 | enero | 1999 |
| | 02 | junio | 1999 |
| | 17 | octubre | 1999 |
| | 28 | septiembre | 2000 |
| | 03 | noviembre | 2000 |
| | 22 | noviembre | 2000 |
| | 24 | noviembre | 2000 |
| | 03 | diciembre | 2000 |
| | 06 | febrero | 2001 |
| | 14 | febrero | 2001 |
| | 01 | marzo | 2001 |
| | 27 | marzo | 2001 |
| | 28 | marzo | 2001 |
| 08 | junio | 2001 | |

Patrón de flujo biestable

- El flujo biestable se caracteriza por cambios aleatorios en el patrón de flujo.
- Estos cambios se llevan a cabo en el cabezal de descarga de la bomba de recirculación, lo que origina fluctuaciones del orden de 0.1% a 1.5% en el flujo del núcleo, potencia térmica y eléctrica.

Patrón de flujo biestable

Cabezal hacia las bombas de chorro

Cabezal hacia las bombas de chorro

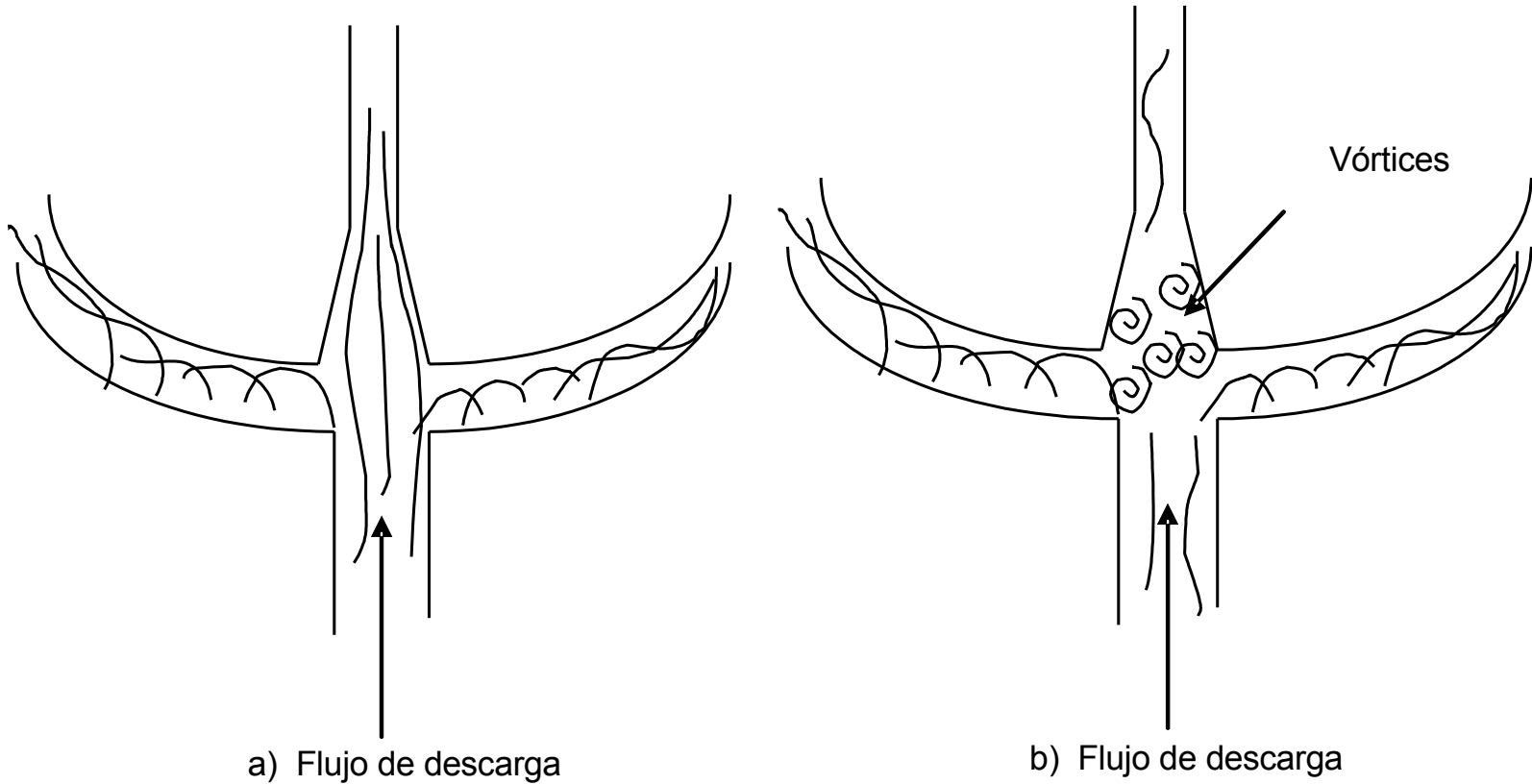


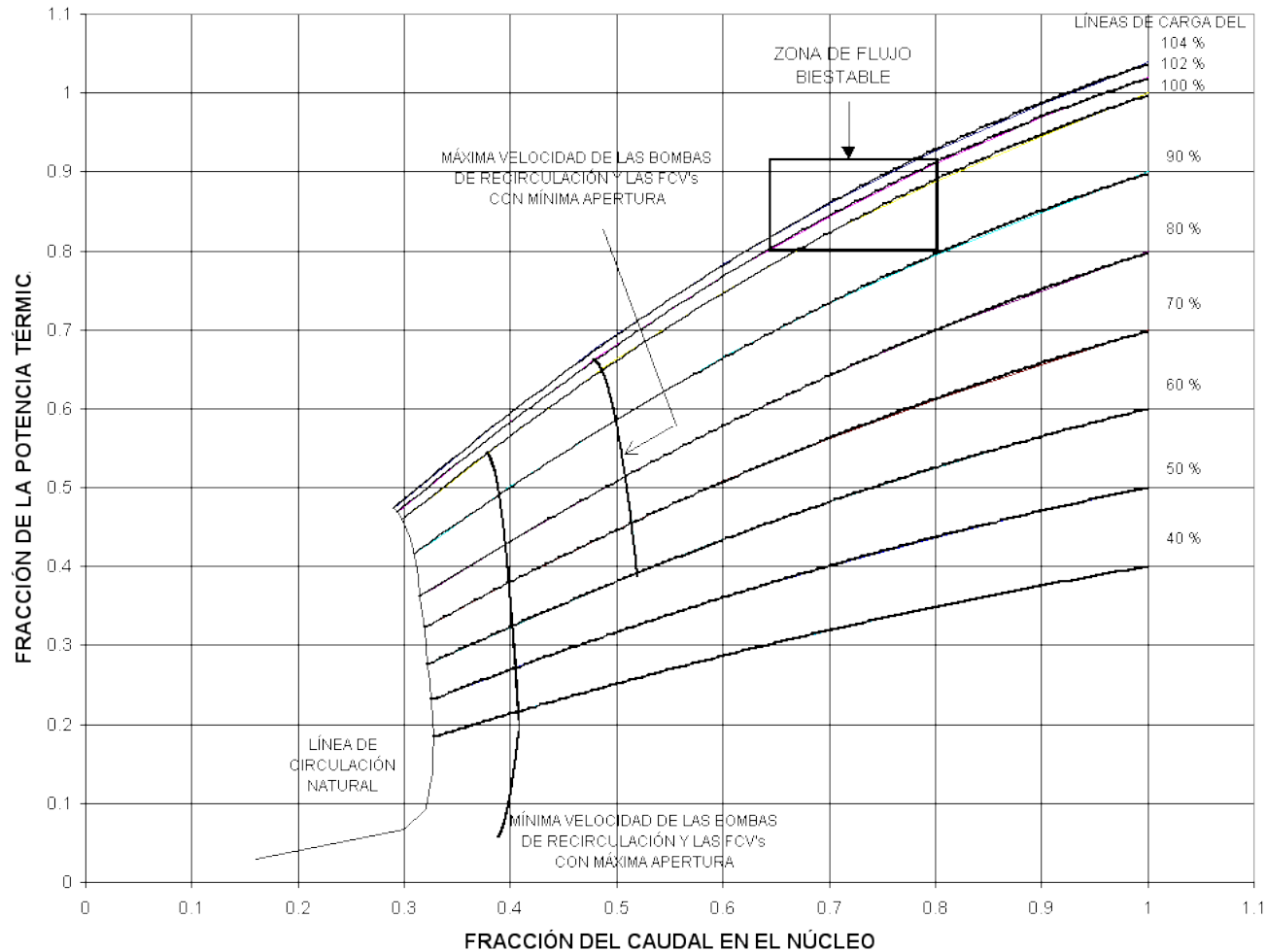
FIGURA 1. PATRONES DE FLUJO: A) SIN VÓRTICES Y B) CON VÓRTICES

Características generales CNLV

- El fenómeno aleatorio se ha presentado con mayor frecuencia en la U2 y preferentemente en el lazo de recirculación A.
- Se ha observado, que el fenómeno tiene lugar durante maniobras de ascenso de potencia en los intervalos de 65% a 80 % de flujo en el núcleo y de 80% a 92% de potencia.

Cabe mencionar que de acuerdo al SIL No. 467, el fenómeno de flujo biestable se presenta durante condiciones de estado estacionario, y no hace mención de que se presente cuando se llevan a cabo maniobras de ascenso de potencia.

Zona de ocurrencia del fenómeno de Flujo Biestable



Metodología

- Análisis de Fourier.
- Análisis de “wavelets”.
- Análisis lineal en el dominio de la frecuencia.

Análisis de Fourier

La STFT permite ver el contenido espectral de la señal analizada.

La STFT provee información para un análisis tiempo-frecuencia.

El análisis se realizó utilizando un ventana de Hanning. El traslape fue del 50% y las muestras analizadas en cada ventana fueron de 100.

Análisis de Fourier en tiempo corto

Esta técnica permite obtener solo información limitada debido a su dependencia con el tamaño de la ventana.

El inconveniente de la STFT es que una vez seleccionado el tamaño de la ventana, esta es la misma para todas las frecuencias.

Análisis de wavelets

El análisis de wavelets emplea una técnica de ventaneo con regiones variables.

El análisis de wavelet emplea el plano tiempo- escala, donde a cada escala se le asocia una frecuencia.

El análisis de wavelet también es capaz de revelar aspectos de los datos que otras técnicas de análisis pierden como son las tendencias, puntos de rompimiento o discontinuidades.

Transformada Continua de Wavelets

Esta técnica permite medir variaciones respecto al tiempo de la componente espectral, donde la diferencia estriba en la resolución tiempo frecuencia que permite a ésta última un análisis más adecuado de la señal con características no estacionarias.

Análisis lineal en el dominio de la frecuencia

- Para diferentes tipos de sistemas, la respuesta a una perturbación externa se puede linearizar sin pérdida de exactitud cuando la perturbación es pequeña.
- Entonces, el umbral de estabilidad de un sistema se puede definir estudiando el problema linearizado en el dominio de la frecuencia.
- Se aplicó la transformada de Laplace a las ED linearizadas que representan los procesos termohidráulicos, para determinar la estabilidad del reactor.

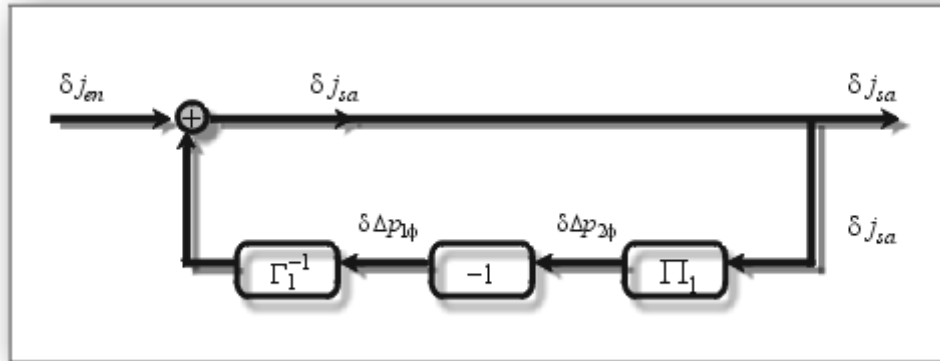
Análisis lineal en el dominio de la frecuencia

- Usando el diagrama de Nyquist se puede establecer la estabilidad y la frecuencia de la oscilación se obtiene el espectro en potencia.
- El modelo considera un canal de combustible promedio, dividido en dos regiones: una fase y otra de dos fases.
- Se considera calentamiento uniforme, y la presión del núcleo constante.

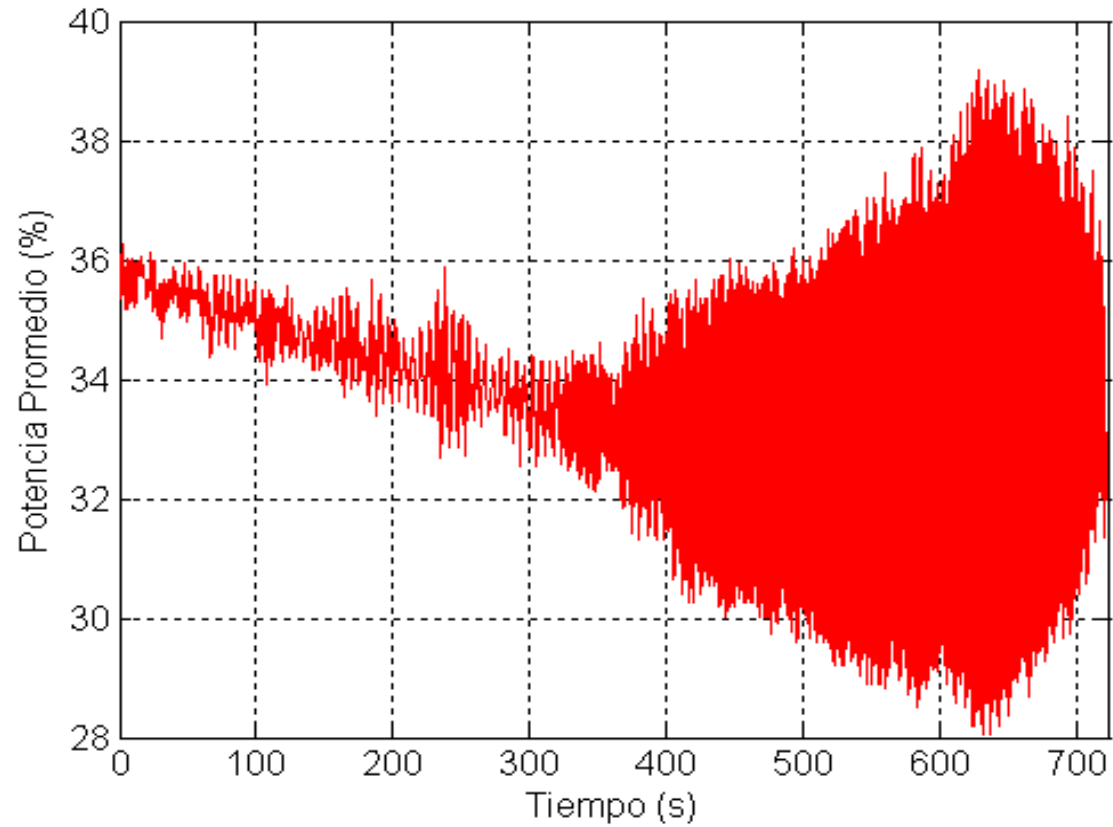
Análisis lineal en el dominio de la frecuencia

- La EDP no lineales que describen la dinámica del flujo en 1 y dos fases están dadas por Lahey y Podowski (1989).
Función de transferencia resultante

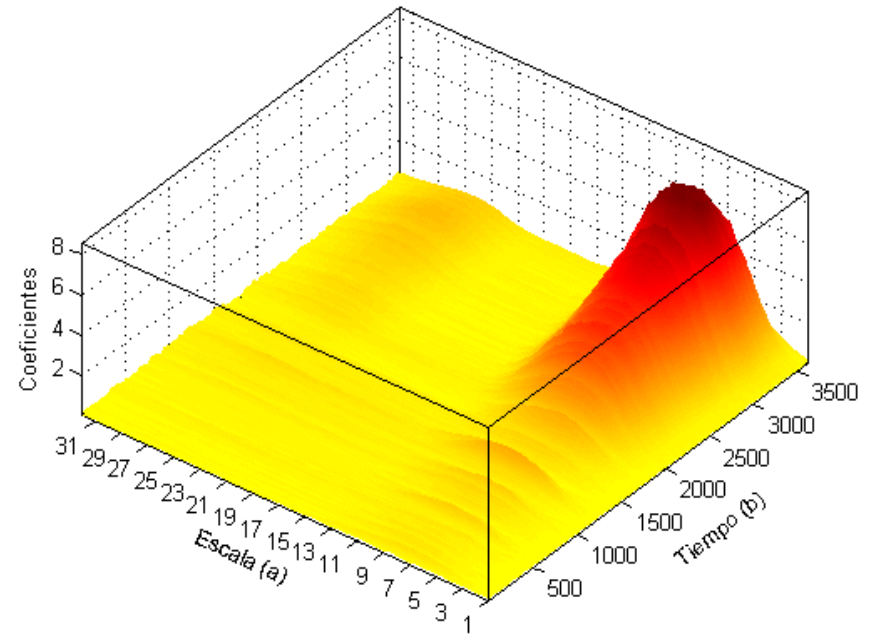
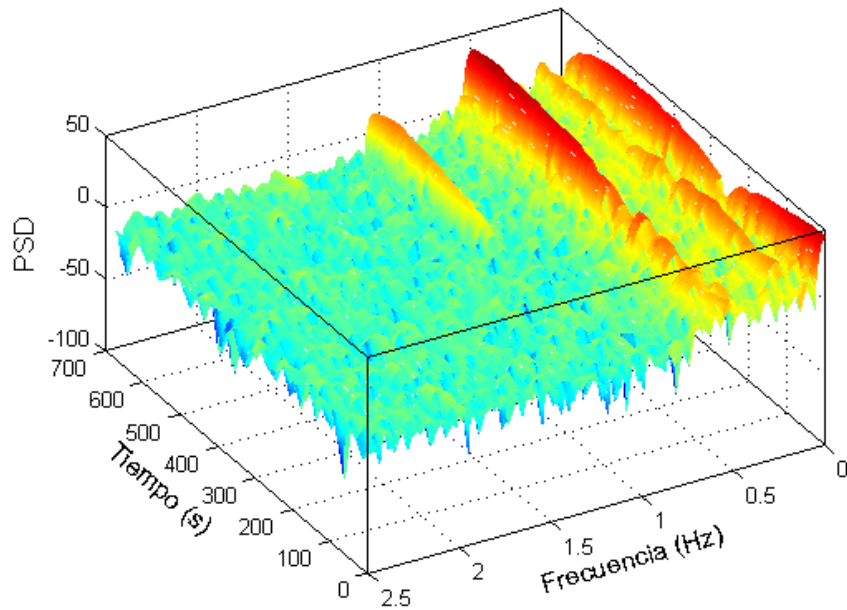
$$G(s) = \frac{1}{1 + H(s)} \quad ; \quad H(s) = \frac{\Pi(s)}{\Gamma(s)}$$



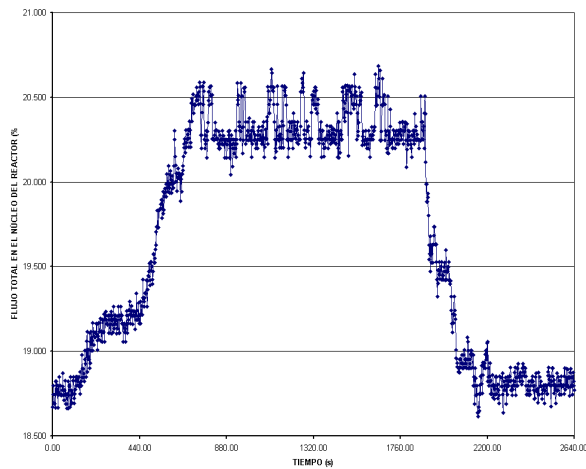
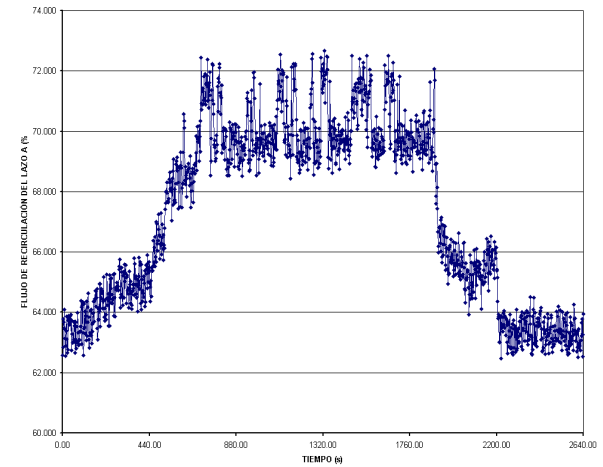
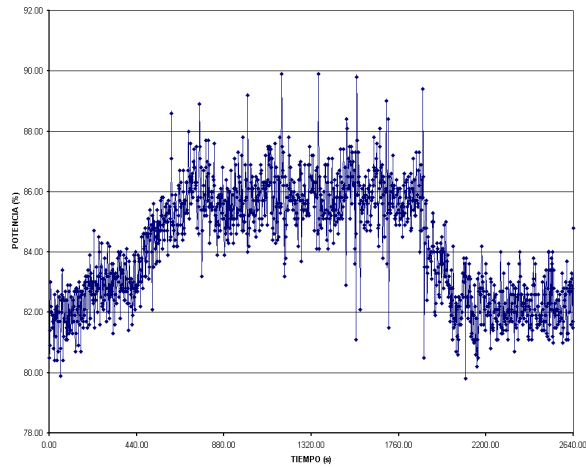
Resultados: Evento CNLV, 1995



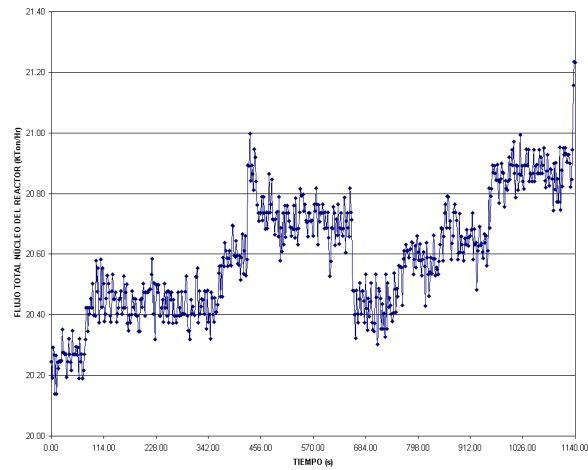
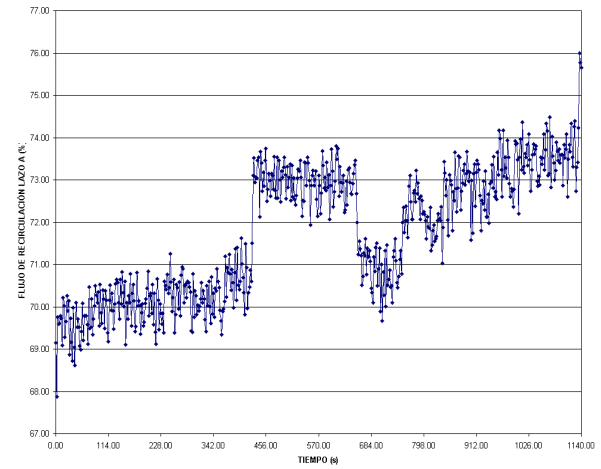
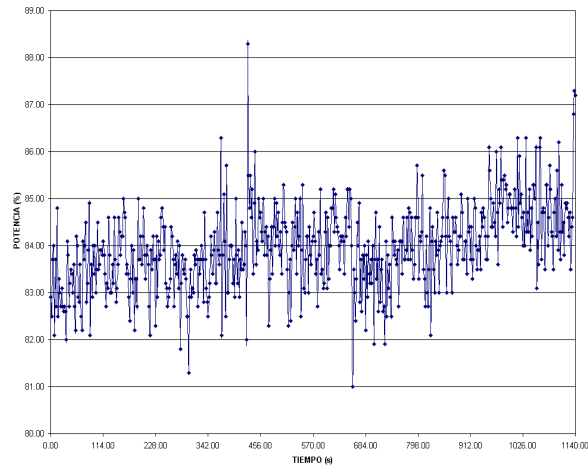
Resultados: Evento CNLV, 1995



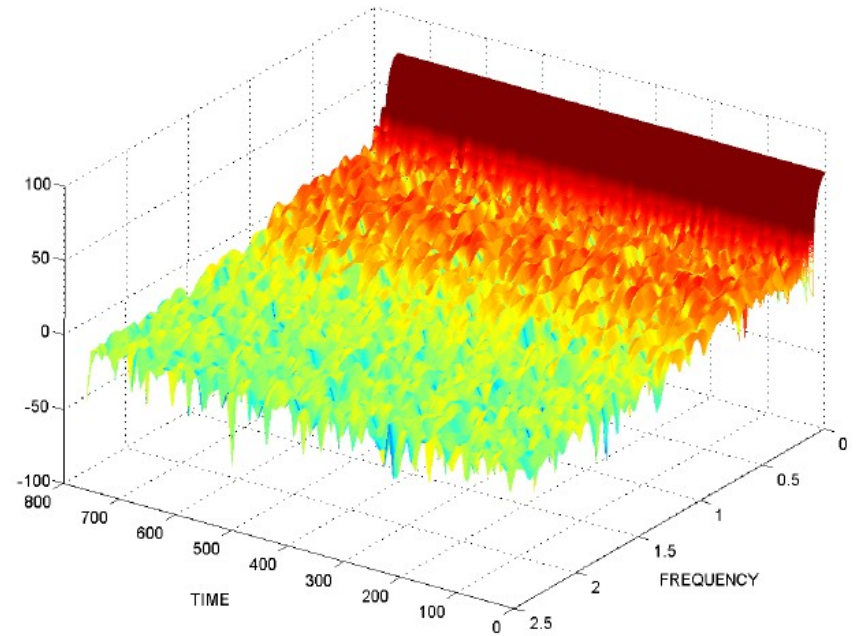
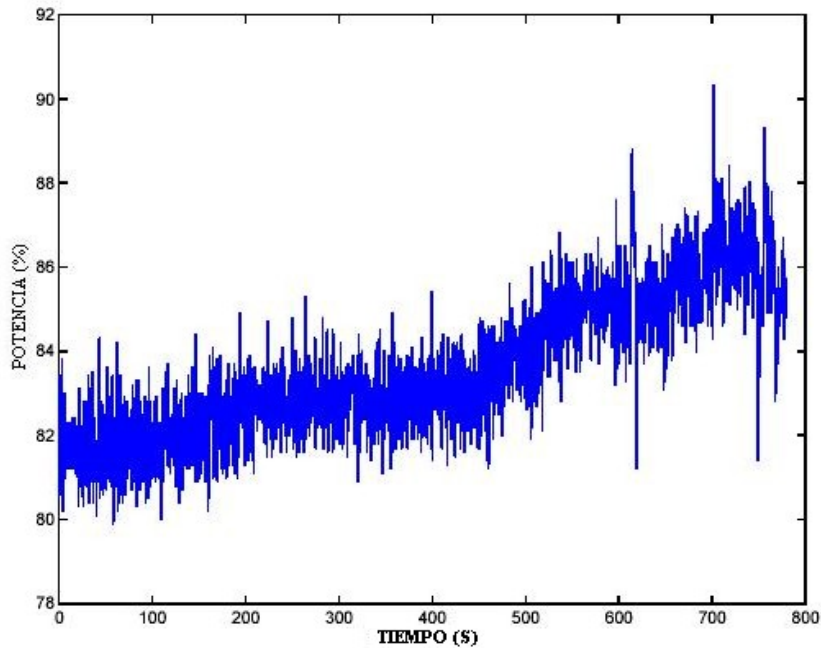
Resultados: CNLV U2, 3/NOV/2000



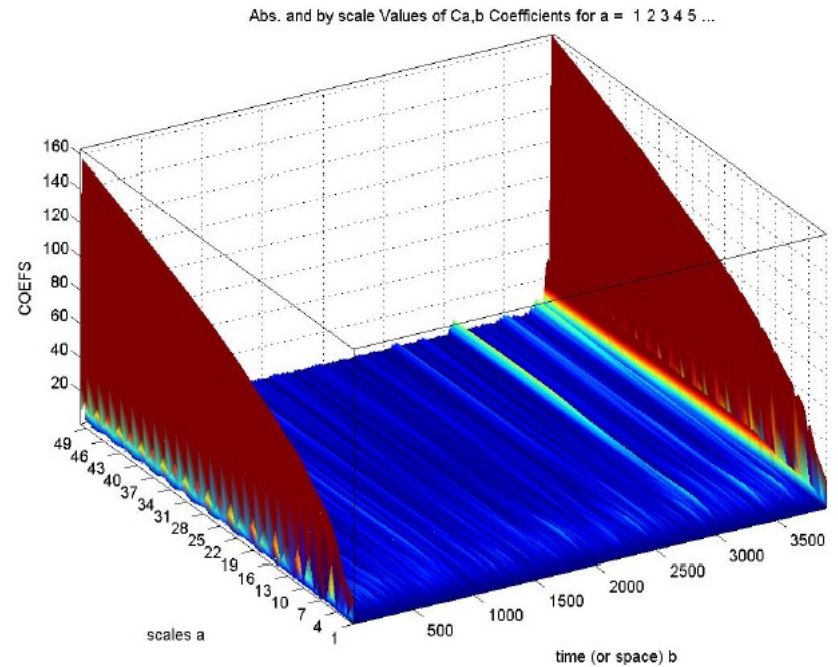
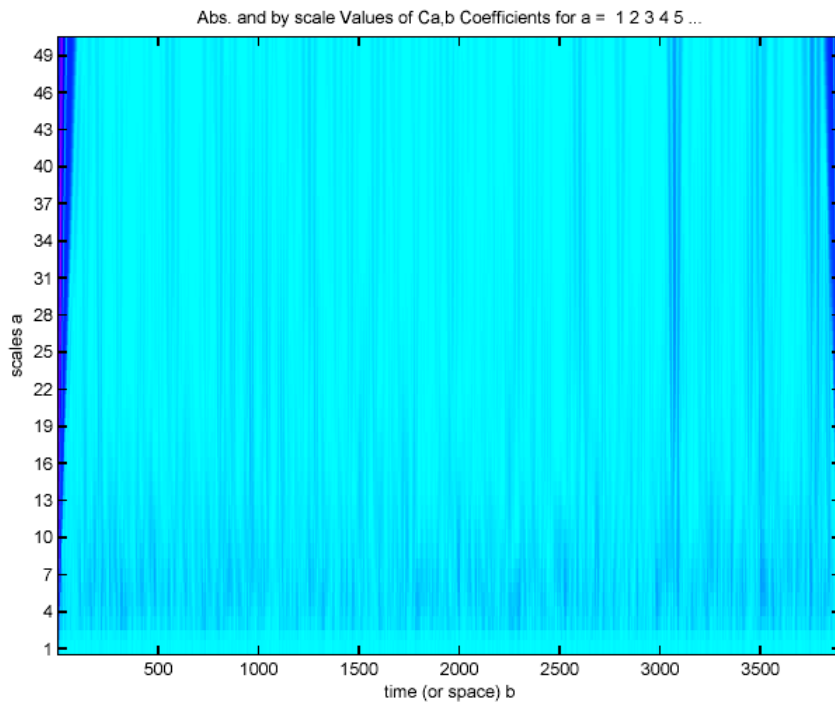
Resultados: CNLV U2, 3/DIC/2000



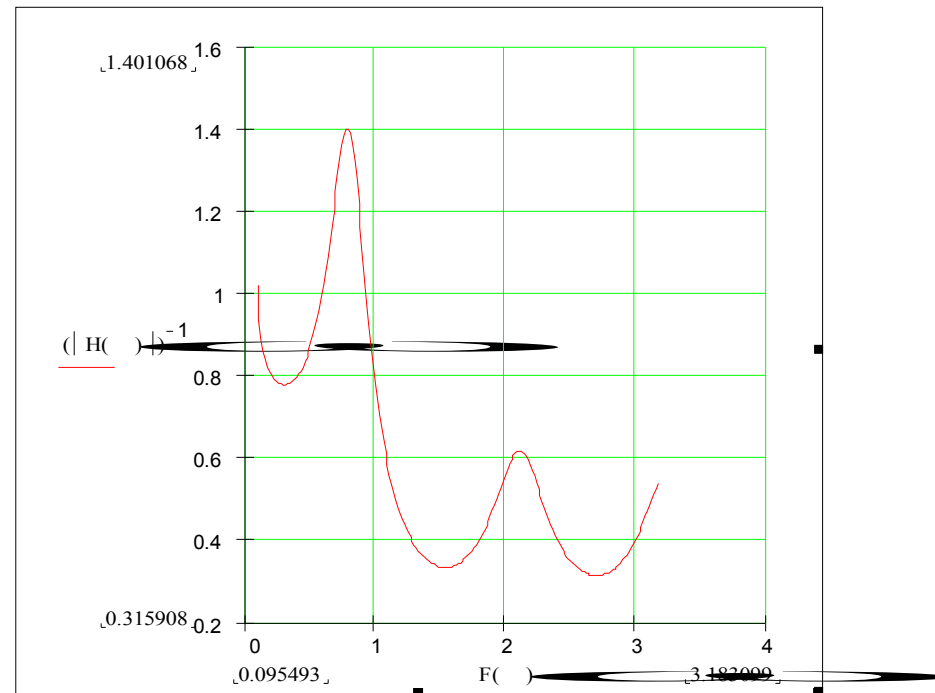
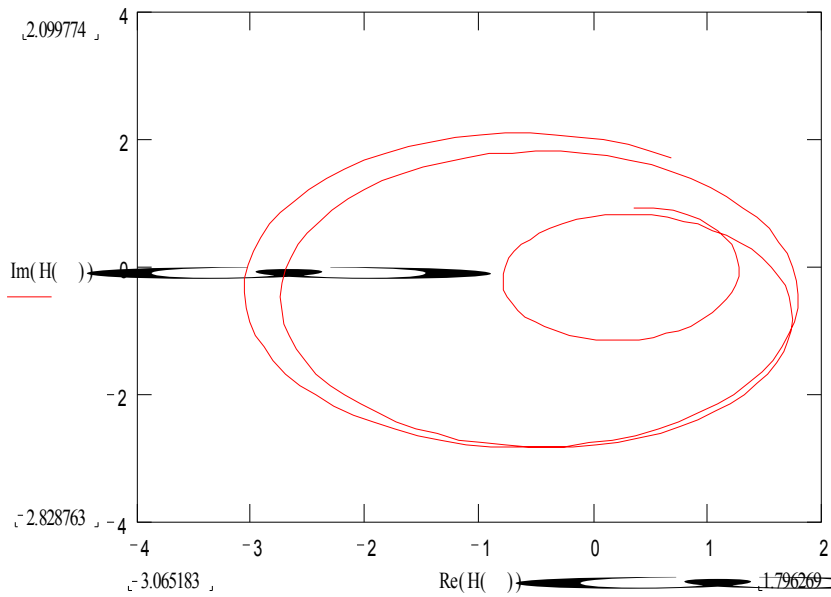
Resultados: Análisis tiempo-frecuencia



Resultados: Análisis escala-tiempo



Resultados: Análisis lineal



Conclusiones

Los resultados obtenidos de los análisis realizados, muestran que las fluctuaciones aleatorias del fenómeno no presenta un patrón característico identificable.

De acuerdo con estos resultados, nos sugieren que el análisis debe realizarse a frecuencias mayores de 5 Hz, aplicando técnicas de análisis alternativas, a las presentadas en este estudio.