

Algunas observaciones sobre el ruido generado por la vibración de una barra absorbente en un conjunto crítico

M. Cadavid Rodríguez y O. Aguilar Domínguez

Unidad Presupuestada para la Construcción del Centro de Investigaciones Nucleares
La Habana, Cuba

O. Glöckler y G. Por

Instituto Central de Investigaciones Físicas
Budapest, Hungría

Resumen

En el presente trabajo se presentan los resultados preliminares obtenidos en el estudio del efecto del movimiento de una barra absorbente situada en el interior de la zona activa del conjunto crítico ZR6-M sobre la densidad autoespectral del flujo de neutrones.

La barra fue sometida a tres tipos de movimientos: radial, azimutal y estocástico. Los resultados muestran, en cada uno de los casos analizados, la presencia de un pico en la frecuencia de oscilación de la barra cuya amplitud depende de la posición de los detectores utilizados con relación a la barra absorbente.

Comments on the Noise Produced by the Movement of an Absorbing Bar in a Critical Assembly

Abstract

This work presents the preliminary results obtained after studying the effect of the movement of an absorbing bar located within the active zone of the critical assembly ZR6-M over the autospectral density of the neutron flux.

The bar was submitted to three kinds of movements: radial, azimuthal and stochastic. The results show in each case analyzed the presence of a peak in the bar oscillation frequency, the amplitude of which depends on the position of the detectors used with respect to the absorbing bar.

INTRODUCCION

En ingeniería, es conocido que la alteración de los patrones vibratorios de las estructuras mecánicas es una indicación de cambios estructurales incipientes. Es por ello que en los últimos años se han comenzado a utilizar sistemas de monitoreo para vibraciones en diferentes plantas industriales, turbinas, motores, etc., donde el desgaste podría ocasionar considerables pérdidas y gastos.

Los problemas vibratorios se presentan también en el equipamiento ingenieril usado en las plantas nucleares. A causa de esto, se ha venido introduciendo paulatinamente en las centrales nucleares dicho tipo de sistemas de monitoreo [1, 2]. Un nuevo tipo de problema surge, sin embargo, cuando se investiga el comportamiento vibratorio de los componentes estructurales internos de la zona activa de los reactores nucleares. Particular importancia se brinda a las oscilaciones de las barras de control de ciertos tipos de reactores nucleares a presión [3, 4, 5], como consecuencia del paso del refrigerante de la zona activa a través del canal.

Para el estudio de tales fenómenos pudieran ser empleadas técnicas convencionales tales como la utilización de sensores de desplazamiento y acelerómetros ubicados convenientemente en cada componente a analizar. Pero las condiciones hostiles en las inmediaciones de la zona activa y las dificultades prácticas de la instalación de dichos sensores mecánicos han traído como consecuencia su poco uso en la actualidad.

Recientemente se están haciendo esfuerzos considerables para el desarrollo e introducción de las técnicas de análisis de ruido neutrónico con el fin de identificar y localizar componentes oscilantes en la zona activa de los reactores nucleares [6, 7, 8, 9]. Este interés se encuentra motivado por el hecho de que los detectores de neutrones asociados con la instrumentación del reactor responden a las perturbaciones del flujo de neutrones generadas por el movimiento de los componentes de la zona activa, produciendo señales que potencialmente pueden brindar información sobre la intensidad de la vibración y su posible localización.

En este trabajo se presentan en forma preliminar los resultados obtenidos en mediciones del tipo anterior-

mente señalado en el conjunto crítico ZR6-M del Colectivo Temporal Internacional (CTI) del CAME para el estudio de la física de los reactores nucleares tipo VVER. El objetivo de estas primeras mediciones fue establecer la factibilidad de efectuar la detección de la oscilación de una barra absorbente usando las señales provenientes de detectores de neutrones convenientemente localizados en la zona activa del conjunto crítico ZR6-M. La respuesta (en términos de la densidad autoespectral, coherencia y fase) de los detectores de neutrones utilizados muestra la posibilidad real del método antes mencionado. La coherencia de varias combinaciones de señales de los detectores de neutrones y la fase entre ellos serán usadas como una ayuda para la interpretación de los resultados.

METODO EXPERIMENTAL

Las mediciones experimentales fueron realizadas en el conjunto crítico ZR6-M [10]. La zona activa utilizada para ello se formó con elementos combustibles de UO_2 , que tienen un 3,6% de enriquecimiento (similares a los del VVER), un paso de 15 mm y una configuración de anillo. Todas las mediciones se efectuaron a temperatura ambiente y con una potencia térmica de 100 W.

La barra absorbente de B_4C fue colocada en un canal cercano al centro de la zona activa. Una representación esquemática de este dispositivo se muestra en la figura 1. La barra absorbente se sometió a tres tipos de movimientos diferentes:

- Movimiento radial con frecuencia de 3,4 Hz.
- Movimiento azimutal con frecuencia de 2,9 Hz.
- Movimiento estocástico.

Los primeros dos tipos de movimiento se realizaron con la ayuda de un motor y un sistema de transmisión que garantiza la forma del movimiento de la barra para una frecuencia fijada de antemano. El movimiento estocástico de la barra se logra pasando agua a una velocidad constante por el canal donde se encuentra la barra. En este caso la barra se halla suspendida de su parte superior, como se ve en la figura 1.

En la figura 2 se muestra la distribución de los detectores de neutrones en la zona activa y el reflector. La efectividad de los detectores utilizados en las diferentes mediciones asegura la detección del efecto que se desea investigar. Para los movimientos radial y azimutal se colocó en la parte superior de la barra un sensor de desplazamiento.

Las señales analógicas provenientes de los detectores de neutrones y el sensor de desplazamiento fueron convenientemente registrados en una grabadora de 16 canales para su posterior evaluación, usando los programas elaborados para una computadora PDP-11. Se realizaron dos tipos de mediciones: una con movimiento de la barra y otra sin él, con el objetivo de comparar las densidades autoespectrales y determinar el efecto del movimiento de la barra absorbente. La elaboración digital de las señales se llevó a cabo utilizando la Transformada Rápida de Fourier. Para ello, es necesario el empleo de un filtro de paso bajo ubicado entre la señal de salida de la grabadora y el conversor análogo-digital (ADC). Este filtro permite evitar el efecto *aliasing* y, por tanto, la distorsión de las densidades autoespectrales de las señales. La frecuencia de muestreo utilizada fue de 40 Hz. Para cada señal se tomaron 30 bloques de 256 puntos cada uno. Mediante la Transformada Rápida de Fourier se calcularon la densidad autoespectral, la coherencia y la fase de las señales estudiadas. Estas dos últimas para varias combinaciones de señales.

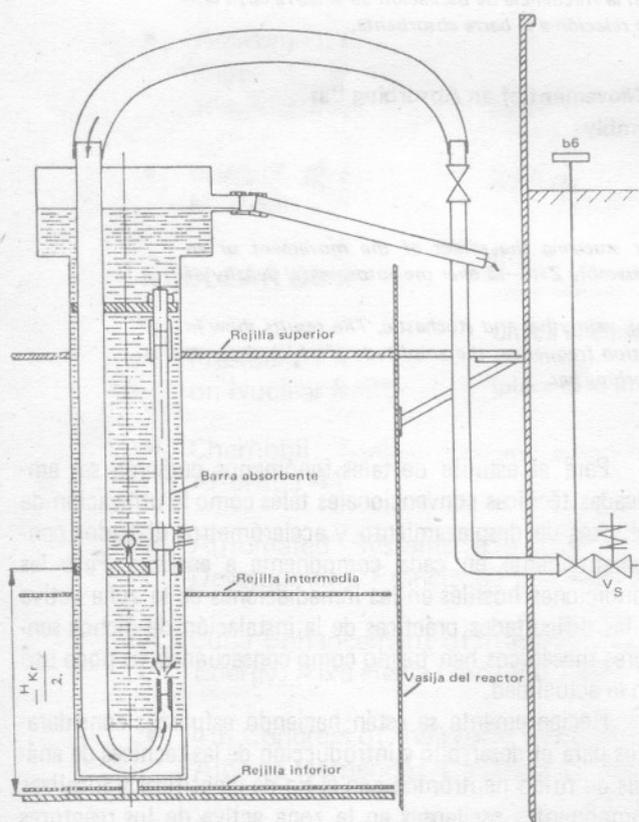


Fig. 1. Esquema del dispositivo utilizado para la realización de las mediciones.

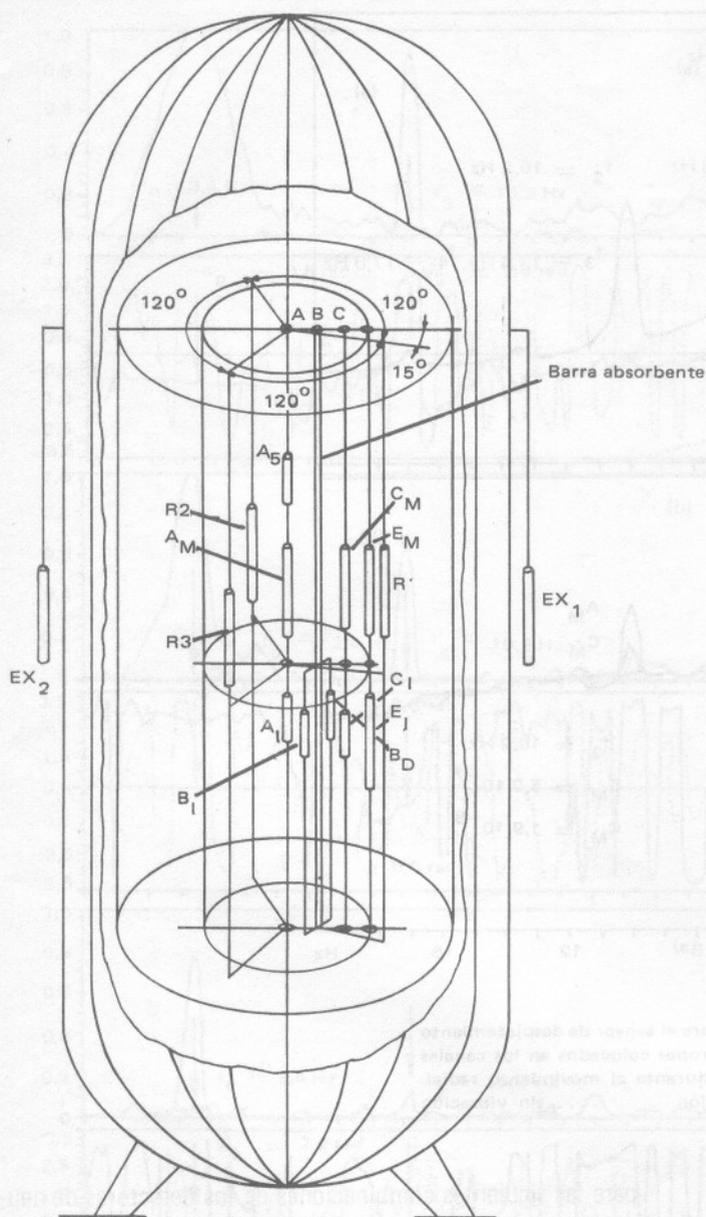


Fig. 2. Distribución de los detectores utilizados en la zona activa.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

MOVIMIENTO RADIAL

En las figuras 3, 4 y 5 se presentan la densidad autoespectral, la coherencia y la fase de los detectores de neutrones situados en los canales A y C de la zona activa y del R 1 colocado en el reflector, así como las del sensor de desplazamiento.

En la figura 3 se aprecia que el espectro de la señal proveniente del sensor de desplazamiento contiene la frecuencia fundamental de vibración de la barra (3,4 Hz) y el se-

gundo, tercero, cuarto y quinto armónico, cuyas amplitudes varían de acuerdo con el orden del armónico. En esta misma figura se presentan los espectros obtenidos en las señales provenientes de los detectores de neutrones colocados en los canales A y C y en la posición R 1 del reflector. Aquí se ve que la amplitud de la oscilación detectada depende, en cada uno de los detectores, de la posición donde se encuentran ubicados con relación a la barra. La amplitud es mayor en las posiciones cercanas a la barra (canal A) que en las posiciones lejanas (posición R 1 del reflector). En cuanto a los armónicos, solo se detecta en las señales el tercero (10,2 Hz) que, por su amplitud, predomina sobre los restantes. El detector colocado en el reflector (R 1) únicamente presenta en su espectro el pico correspondiente a 3,4 Hz, puesto que dada la distancia a que se halla es muy grande la debilitación del efecto en el flujo de neutrones.

En las figuras 4 y 5 se muestra la coherencia entre el sensor de desplazamiento y los detectores ubicados en los canales A y C, así como en la posición R 1 del reflector. En ellas se ve que la coherencia para la frecuencia de oscilación de la barra (3,4 Hz) es alta en todas las combinaciones antes mencionadas, así como el tercer armónico (10,2 Hz). Esta coherencia tan alta indica que el pico en el espectro es provocado por el mismo fenómeno, es decir, por la oscilación de la barra. Para estas combinaciones, las señales están en fase en la frecuencia anteriormente señalada.

En la figura 5 se presentan la coherencia y la fase para las combinaciones: detector A_M —detector C_M y detector A_M —detector R 1. La coherencia en ambos casos es alta en la frecuencia de oscilación de la barra, lo que indica nuevamente que la fuente que la provoca es la misma y en este caso se corresponde con el movimiento de la barra absorbente. En cuanto a la fase, se puede señalar que los detectores localizados en partes opuestas a la barra absorbente tienen fases opuestas.

MOVIMIENTO AZIMUTAL

Para este movimiento de la barra fueron realizadas mediciones con los mismos detectores que en el caso anterior. En esta parte solo se presentarán los resultados obtenidos con los detectores R 1, R 2 y R 3, localizados en el reflector.

En la figura 6 se muestran la coherencia y la fase para las siguientes combinaciones de señales: R 1—R 3, R 1—R 2 y R 2—R 3. En ellas se observa una alta coherencia para todo el rango de frecuencias utilizado (0 Hz—20 Hz) en el caso de que la barra no se encuentre oscilando. Este resultado se debe, probablemente, a efectos de retroalimentación por temperatura causados por el funcionamiento del reactor a la potencia máxima dado el largo período durante el cual se

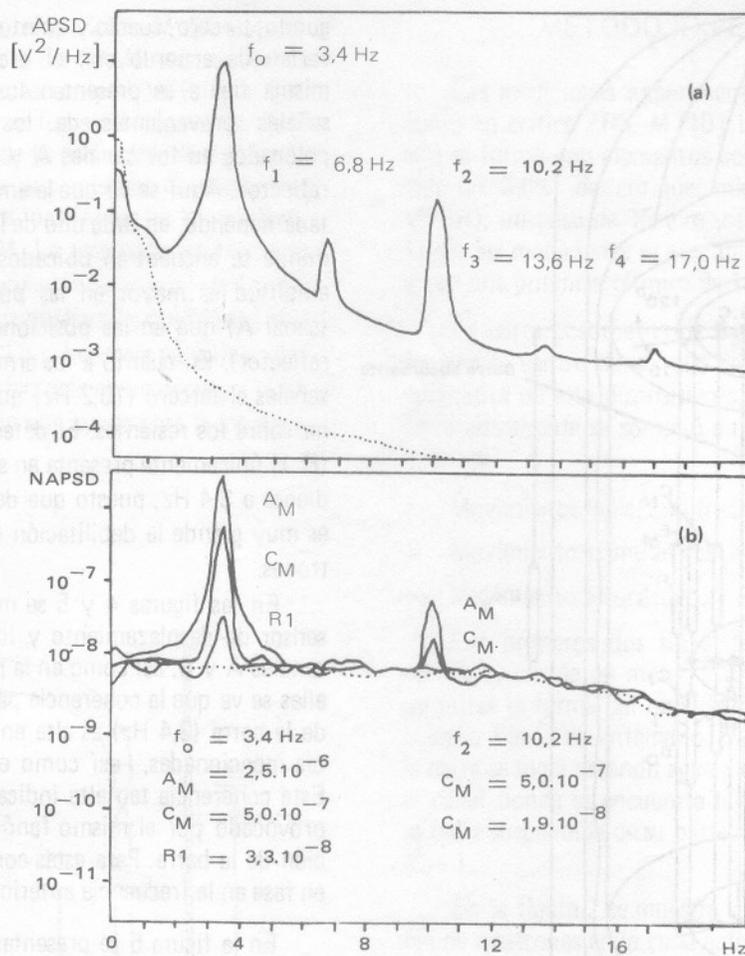


Fig. 3. Densidades autoespectrales para el sensor de desplazamiento (a) y los detectores de neutrones colocados en los canales A, C y en el reflector (b) durante el movimiento radial. — con vibración . . . sin vibración

llevaron a cabo las mediciones. Sin embargo, en el caso de que la barra se encuentre oscilando aunque la coherencia se mantenga alta, esta se convierte prácticamente en cero cuando la frecuencia de oscilación de la barra es de 2,9 Hz. Pudiera ser una explicación de ello si ambos efectos estuvieran en oposición de fase para la frecuencia de oscilación de la barra, pero no se puede llegar a esa conclusión sin realizar un estudio que incluya dicho efecto de temperatura no considerado en estas mediciones.

MOVIMIENTO ESTOCÁSTICO

En las figuras 7, 8, 9 y 10 se ven reflejados los resultados obtenidos por este tipo de movimiento de la barra. En ellas se encuentran representadas la densidad autoespectral, la magnitud de la densidad espectral de correlación y la fase

para las siguientes combinaciones de los detectores de neutrones: A_S-A_I, A_M-C_M, BD-BI (detectores colocados a ambos lados de la barra absorbente) y R 3-R 2. La disposición de los detectores se aprecia en la figura 2.

De estos resultados se puede concluir:

- Al comparar las densidades autoespectrales de las señales sin y con oscilación de la barra absorbente en la región de las bajas frecuencias (hasta 2 Hz), se observa la formación de un pico en el caso de que oscile la barra. Esto es característico de las oscilaciones inducidas por el paso del agua a través del canal donde aquella se encuentra ubicada.
- La coherencia en cada una de las combinaciones es relativamente alta en la región antes señalada si oscila la barra, lo que permite determinar que ella es provocada por esto.

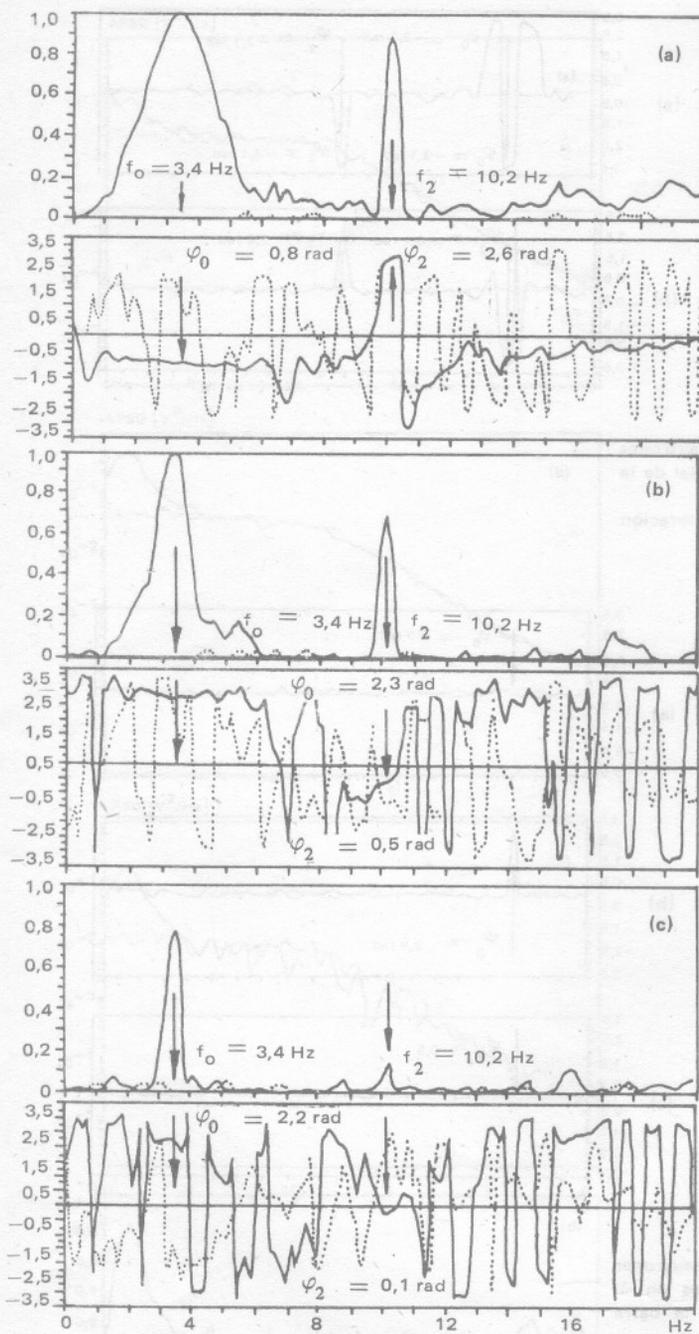


Fig. 4. Coherencia y fase del sensor de desplazamiento para los detectores de neutrones A_M (a), C_M (b) y $R1$ (c) en el movimiento radial de la barra absorbente.
 — con vibración sin vibración

CONCLUSIONES

Los resultados reportados de las primeras investigaciones que se realizan desde 1983 en la instalación del Instituto Central de Investigaciones Físicas de Budapest, en el marco del CTI, permiten concluir lo siguiente:

- En los detectores de neutrones utilizados en las investigaciones existe una respuesta al efecto producido en el flujo de neutrones por los tres tipos de movimiento a que fue sometida la barra absorbente. Esta respuesta se caracteriza por la presencia de un pico en la densidad autoespectral de las señales a la frecuencia de oscilación de la barra. La amplitud del pico depende de la posición en que se encuentra el detector con relación a la barra.
- La alta coherencia encontrada entre las diferentes combinaciones de los detectores de neutrones escogidos y el sensor de desplazamiento posibilita establecer que la presencia del pico antes mencionado es consecuencia del movimiento a que es sometida la barra absorbente.
- En el caso del movimiento azimutal de la barra es necesario llevar a cabo mediciones complementarias con el fin de esclarecer el efecto registrado por los detectores R 1, R 2 y R 3 situados en el reflector. Para ello es indispensable tener en cuenta los efectos de la temperatura.

RECOMENDACIONES

Para la planificación del próximo ciclo de mediciones es necesario considerar los resultados preliminares, que son reportados en el presente trabajo con el objetivo de:

- Realizar un análisis de los efectos de temperatura en el comportamiento de la densidad autoespectral para los diferentes detectores a utilizar, tanto en régimen vibratorio como estacionario, de la barra absorbente.
- Establecer un método que permita localizar, con la información recibida de los detectores de neutrones, la posición de la barra absorbente que se encuentra oscilando.
- Una vez esclarecidos los fenómenos que tienen lugar durante el movimiento de la barra, es indispensable pasar a considerar una barra absorbente de las utilizadas en las centrales nucleares (combustible y absorbente).
- Es necesario comenzar la búsqueda de un método que permita determinar la intensidad del choque de la barra con el canal, lo cual es importante para el diagnóstico porque es la causa de las averías que pueden ocurrir ante la presencia de este fenómeno.

- No existe diferencia de fase entre las combinaciones anteriormente mencionadas, salvo entre los detectores BI y BD que, por hallarse colocados en lados opuestos (180°) a la barra, presentan una oposición de fase en la región de interés.

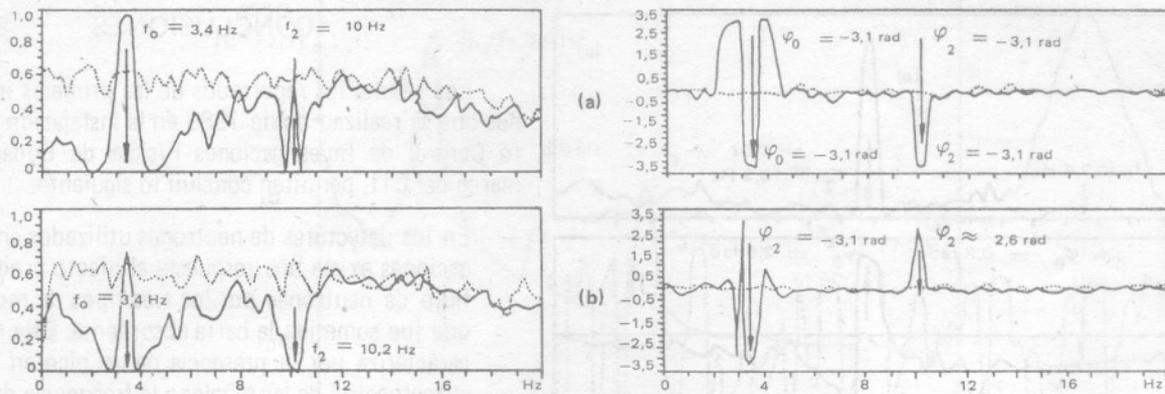


Fig. 5. Coherencia y fase para los detectores de neutrones $A_M - C_M$ (a) y $A_M - R1$ (b) en el movimiento radial de la barra absorbente.

_____ con vibración sin vibración

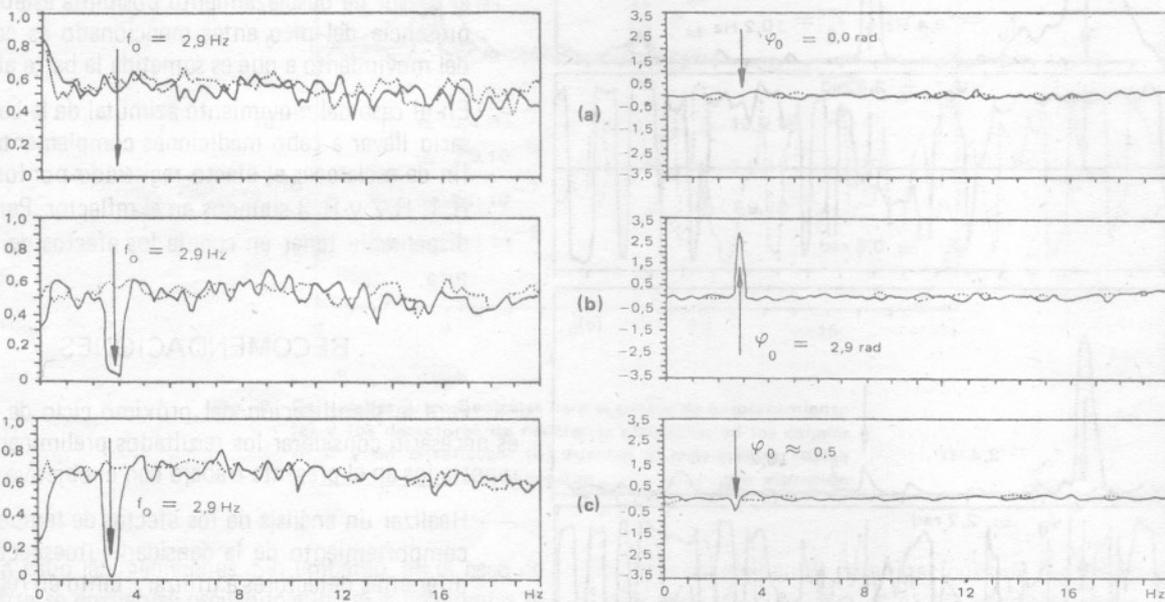


Fig. 6. Coherencia y fase para los detectores de neutrones R1-R2(a), R1-R3(b) y R2-R3(c), localizados en el reflector, durante el movimiento azimutal de la barra absorbente.

_____ con vibración sin vibración

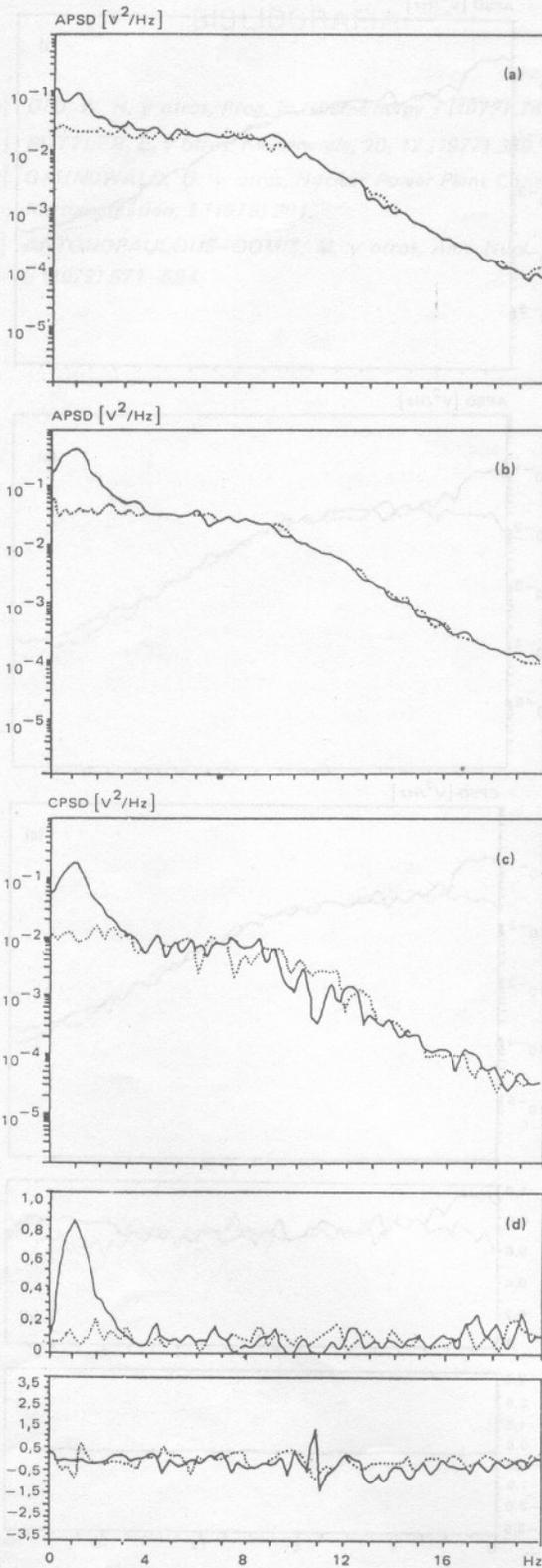


Fig. 7. Densidad autoespectral de los detectores de neutrones A_S (a) y A_I (b); densidad espectral de correlación para $A_S - A_I$ (c), así como su coherencia y fase (d) en el movimiento estocástico de la barra absorbente.
 _____ con vibración sin vibración

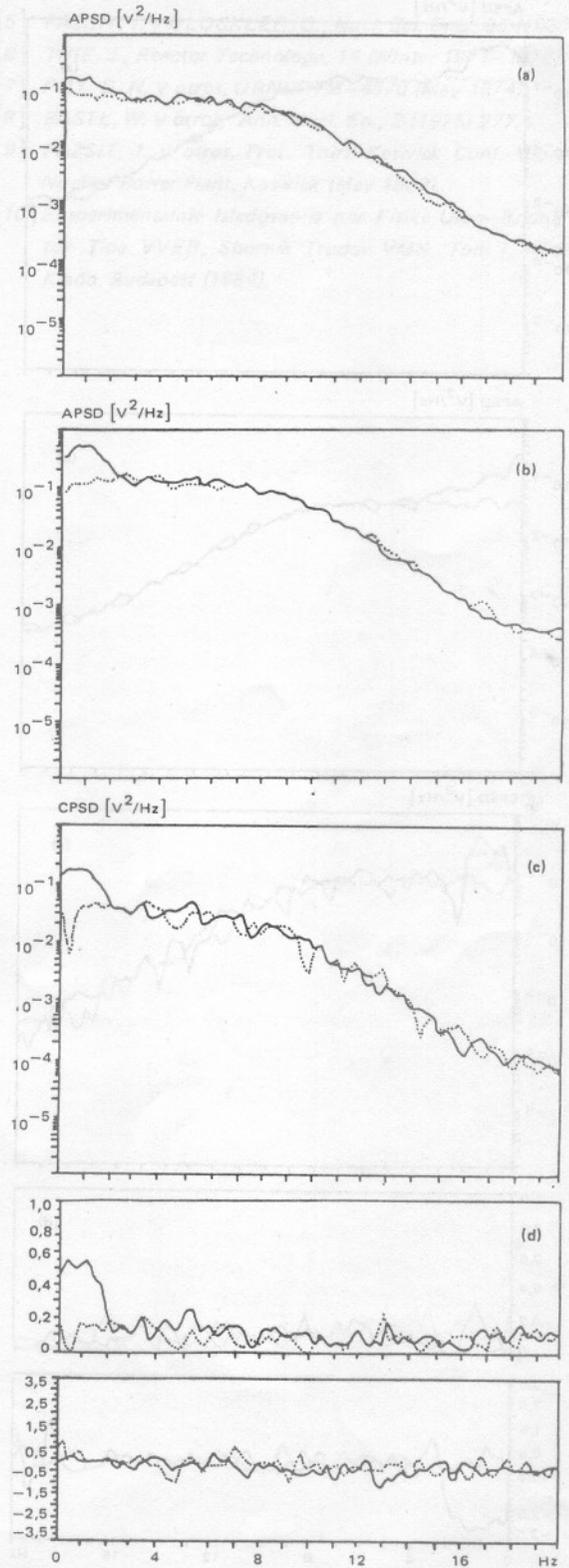


Fig. 8. Densidad autoespectral de los detectores de neutrones A_M (a) y C_M (b); densidad espectral de correlación para $A_M - C_M$ (c), así como su coherencia y fase (d) en el movimiento estocástico de la barra absorbente.
 _____ con vibración sin vibración

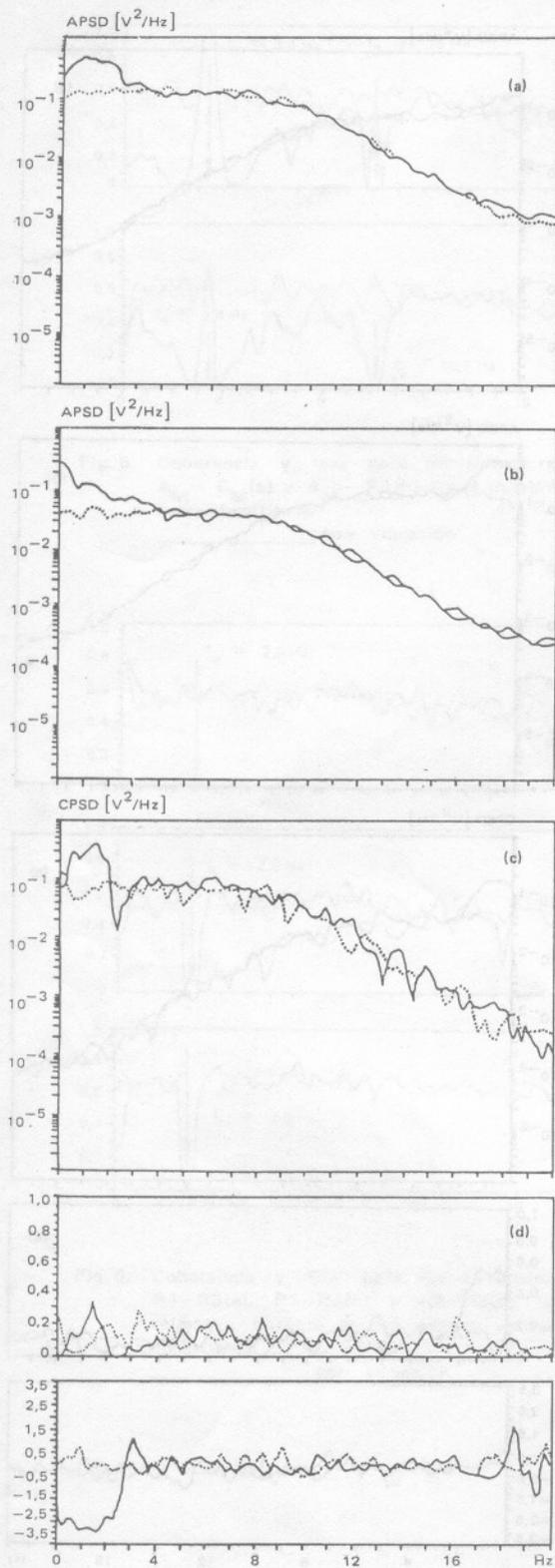


Fig. 9. Densidad autoespectral de los detectores de neutrones BI(a) y BD(b); densidad espectral de correlación para BI-BD(c), así como su coherencia y fase (d) en el movimiento estocástico de la barra absorbente.
 _____ con vibración sin vibración

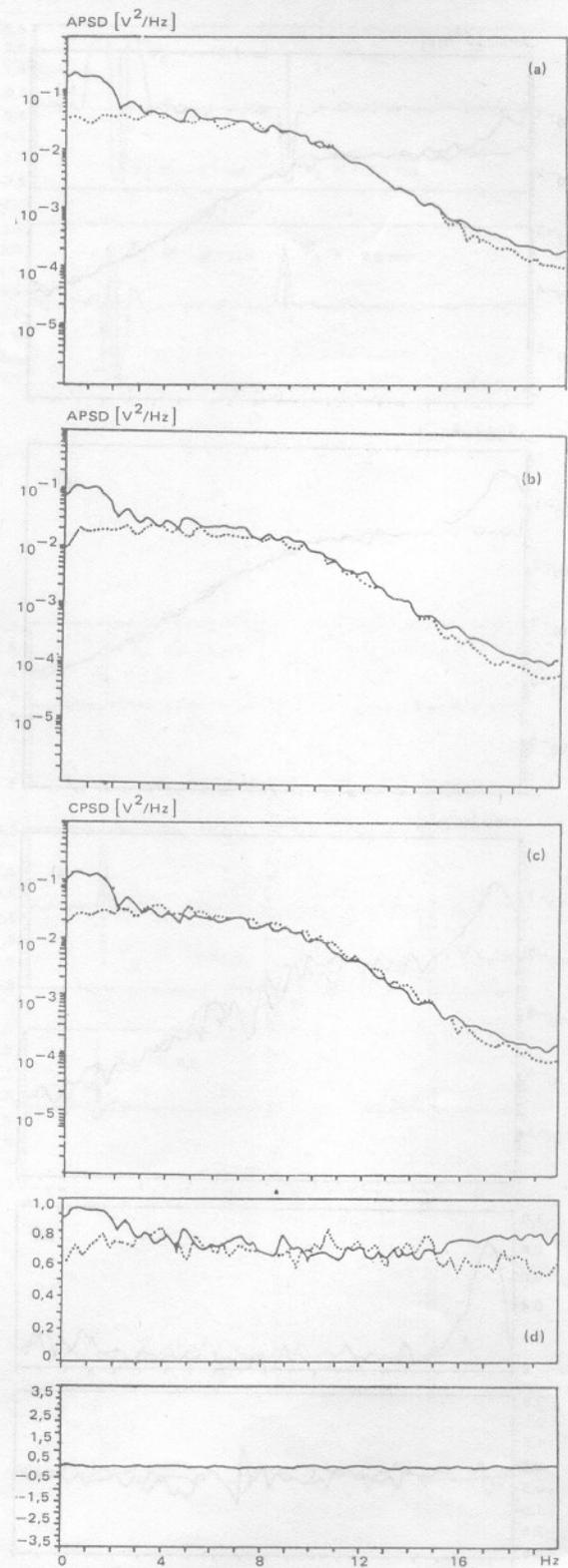


Fig. 10. Densidad autoespectral de los detectores de neutrones R3(a) y R2(b); densidad espectral de correlación para R3-R2(c), así como su coherencia y fase (d) en el movimiento estocástico de la barra absorbente.
 _____ con vibración sin vibración

BIBLIOGRAFIA

- [1] DIO, W. H. y otros, *Prog. in Nucl. Energy i* (1977) 747–758.
- [2] BUTTLER, E. y otros, *Kernenergie*, 20, 12 (1977) 389.
- [3] GRUNDWALD, G. y otros, *Nuclear Power Plant Control and Instrumentation*, 1 (1978) 291.
- [4] ANTONOPAULOUS-DOMIS, M. y otros, *Ann. Nucl. Energy*, 6 (1979) 571–584.
- [5] PAZSIT, I. y GLOCKLER, O., *Nucl. Sci. Eng.*, 85 (1983) 167.
- [6] THIE, J., *Reactor Technology*, 14 (Winter 1971–1972) 4.
- [7] FRY, D. N. y otros, *ORNL-TM-4570* (May 1974).
- [8] BASTL, W. y otros, *Ann. Nucl. En.*, 2 (1975) 277.
- [9] PAZSIT, I. y otros, *Proc. Third Keswick Conf. Vibration in Nuclear Power Plant, Keswick* (May 1982).
- [10] *Eksperimentalnie Isledovaniia por Fisike Uran-Bodnij Reshetok Tipa VVER, Sbornik Trudov VMK, Tom I, Akademiias Kiado, Budapest* (1984).