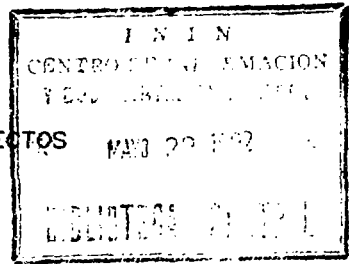


INIS-mt--13469

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
I Z T A P A L A P A

SEMINARIO DE PROYECTOS



INGENIERIA EN ENERGIA

**"Medicion del Tiempo de Vida de los Neutrones Inmediatos
Usando Analisis de Ruido Neutronico"**

Juan Jose Ortiz Servin

86331373

Asesor Interno: MIQ Rodolfo Vazquez R.

Asesor Externo: Fis. Rodolfo Carrillo M.

Abril 1992.

Quiero agradecer al Fis. Rodolfo Carrillo M. por su valiosa ayuda y dedicación en el asesoramiento de este trabajo. Del mismo modo quiero agradecer la ayuda prestada por el MIQ Rodolfo Vázquez R.

También agradezco al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares por permitirme hacer uso de sus instalaciones.

INDICE

Introducción	3
Capítulo 1: ANTECEDENTES TEORICOS.	4
1.1 Neutrones y su importancia en Reactores de Fisión	4
1.2 Técnica de Análisis de Ruido	8
1.3 Transformada de Fourier y Algoritmo FFT	10
1.4 Función de Densidad Espectral de Potencia	14
1.5 Función de Coherencia	15
Capítulo 2: SISTEMA DE MEDICION Y GRABACION	16
Capítulo 3: FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	19
Capítulo 4: MODELO MATEMATICO PARA ESTIMAR LA VIDA DE LOS NEUTRONES INMEDIATOS	23
Capítulo 5: PROGRAMAS DE COMPUTADORA UTILIZADOS	29
5.1 Programa TAR	29
5.2 Programa SUMA1.PAS	30
5.3 Programa SUMA2.PAS	32
5.4 Programa AJUSTE.PAS	34
5.5 Programa SUAVE.PAS	35
Capítulo 6: ANALISIS DE RESULTADOS	40
Capítulo 7: CONCLUSIONES	65

BIBLIOGRAFIA	68
APENDICE A: LISTADOS DE PROGRAMAS	70
APENDICE B: TABLAS DE MEDICIONES AJUSTADAS	101
APENDICE C: CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS USADOS	105

INTRODUCCION

El propósito de éste trabajo es estimar el tiempo de vida de los neutrones inmediatos utilizando Análisis de Ruido Neutrónico. El reactor con que se trabajó, es el Reactor TRIGA MARK III del Centro Nuclear de México.

El Análisis de Ruido es una metodología nueva y poco explorada en México, su mayor aplicación se ha dado en la investigación de reactores nucleares. Sin embargo, puede ser aplicada en una gran cantidad de campos de la industria e ingeniería contemporaneas.

En éste trabajo se muestra como utilizar el Análisis de Ruido para estimar un parámetro importante de un reactor como lo es la vida neutrónica. El primer capítulo hace un repaso de lo que es el ruido neutrónico y algunos conceptos que le son útiles, como el algoritmo de la FFT, el Espectro de Potencia y Función de Coherencia. En los capítulos 2 y 3, se hace una descripción del equipo de medición y se muestra su funcionamiento para una onda senoidal de 50 Hz.

En el cuarto capítulo se desarrolla el modelo matemático basado en el Análisis de Ruido Neutrónico, para encontrar la vida de los neutrones inmediatos. El capítulo 5 hace una breve descripción de los programas de computadora utilizados.

El capítulo 6 muestra los resultados obtenidos, tablas y gráficas de los ajustes, también, la comparación del resultado con el que se obtiene teóricamente.

CAPITULO 1: ANTECEDENTES TEORICOS

1.1 NEUTRONES Y SU IMPORTANCIA EN REACTORES DE FISION

Debido a que los neutrones son partículas neutras y pesadas, tienen propiedades que los hacen especialmente interesantes e importantes en la ciencia y tecnología contemporáneas. Son muchas las ramas de la ciencia que se benefician con el estudio y aplicación de neutrones. Por ejemplo, la medicina, la química y la biología entre otras, sacan provecho del bombardeo de núcleos por neutrones para producir nuevas especies nucleares. Sin embargo, la mayor aplicación que se les ha dado, es utilizarlos para fisiónar algunos núcleos pesados y aprovechar la energía liberada.

En ésta última aplicación, el núcleo fisiónado (llamado núcleo fisil) libera una gran cantidad de energía y 2 o 3 neutrones más que se utilizan para inducir nuevas fisiones. La energía liberada se reparte en energía cinética de neutrones y fragmentos de fisión, radiaciones γ y energía de decaimiento β^- . Por medio de choques, estos residuos calientan al medio que le rodea y el calor debe ser sacado del sistema por medio de un refrigerante.

Sin embargo, el reactor nuclear no consiste solamente de combustible y refrigerante, es bastante complejo, tanto por la cantidad de materiales que hay en su interior como por la diversidad de reacciones que tienen lugar. De ahí la importancia de querer estudiarlos a fondo.

Una de tantas técnicas disponibles para estudiar los fenómenos que ocurren en el núcleo de un reactor nuclear es la

técnica de análisis de ruido neutrónico y de la cuál se hablará más adelante.

Regresando a la reacción de fisión, si los neutrones se liberan en un tiempo no mayor de 10^{-14} segundos después de ocurrida la fisión, entonces se denominan neutrones inmediatos; si se liberan a partir de este momento y hasta varias horas después se llaman neutrones retardados. El primer tipo constituye más del 99% del total de neutrones (depende del núcleo fisil sin que sean variaciones muy grandes).

Los neutrones podrán inducir nuevas fisiones si tienen la energía apropiada, por ejemplo si el combustible es U-235, los neutrones requieren tener energía térmica. Por otro lado, debido a que los neutrones liberados en la fisión tienen energías de 1 a 2 MeV, se introduce al reactor un material, que por medio de dispersiones termalice a éstos. Los materiales que se utilizan tienen bajo número másico y se llaman moderadores.

El núcleo del reactor está limitado por un material reflector de neutrones que evita que escapen y reduce al mínimo la pérdida de ellos. Además existen diversas aleaciones dentro del núcleo que se utilizan en ensambles de combustible, contenedor del refrigerante y estructuras de soporte. Por lo tanto, el interior del núcleo de un reactor está constituido por materiales como combustible, refrigerante, moderador aleaciones y productos de fisión. Al hacer un análisis o estudio de las propiedades de un reactor hay que tener en cuenta todos estos materiales que de una u otra manera pueden influir en los resultados que se obtengan.

Vida de los Neutrones Inmediatos.

Una magnitud de gran importancia en cinética de reactores es la vida neutrónica, que es el tiempo transcurrido entre el momento que es liberado un neutrón hasta que es absorbido o escapa del reactor. Este lapso de tiempo se divide en dos subperiodos llamados: tiempo de moderación (tiempo necesario para que los neutrones se termalicen) y tiempo de difusión (vida térmica del neutrón hasta que es absorbido).

De lo expuesto anteriormente, se ve que el tiempo de vida neutrónica depende de los materiales de que está formado el reactor y de su tamaño. La siguiente tabla da algunos tiempos de vida neutrónica para diferentes moderadores (se asume que el tiempo de difusión transcurre totalmente en este medio y que además el medio es infinito).

TIEMPOS DE MODERACION Y DIFUSION PARA NEUTRONES TERMICOS

Moderador	Tiempo de Moderación (segundos)	Tiempo de Difusión (segundos)
Agua	7.1×10^{-6}	2.4×10^{-4}
Agua Pesada	5×10^{-5}	6×10^{-2}
Berilio	5.7×10^{-5}	4.2×10^{-3}
Grafito	1.4×10^{-4}	1.6×10^{-2}

Esta tabla [6] muestra que el tiempo de moderación es mucho menor que el tiempo de difusión, por lo que en la práctica se suele despreciar.

Debido a que se toma un solo material en ésta tabla, los valores que se podrían esperar, si se tomaran en cuenta todos los materiales del reactor, deben variar bastante de éstos; ya que estando repartidos uniformemente, la densidad de núcleos es mayor a la que puede haber en un material moderador distribuido uniformemente. Por lo tanto, el tiempo de vida neutrónica debe ser menor al reportado en la tabla, por lo que servirá como un límite superior para el tiempo que se calcule.

El concepto de ruido es utilizado en acústica para caracterizar una serie de pulsaciones aleatorias e irregulares. A partir de esta definición, a todos los fenómenos que tienen ésta característica se les llama ruido.

El comportamiento de los neutrones en el interior de un reactor nuclear tiene éstas características por lo que se le llama Ruido Neutrónico.

Existen otro tipo de ruidos que van desde vibraciones de estructuras, motores, bombas, compresores, sistemas de refrigeración y calefacción, hasta ruidos producidos en cables y conexiones defectuosas e interferencias producidas por campos eléctricos y magnéticos.

En un reactor nuclear existen muchos tipo de ruido, los más importantes se enumeran a continuación:

- El ruido mas importante es el debido a la naturaleza aleatoria de los neutrones.
- El segundo tipo de ruido es el producido por el ambiente y sistemas propios del reactor (motores, bombas, compresores y sistemas). Sin embargo para cuestiones de estudio de ruido en el reactor, estos pueden ser eliminados apagando los equipos.
- Finalmente, al medir flujos de neutrones en el interior de un reactor, se requiere introducir detectores para "ver" a los neutrones. En el interior del detector se genera ruido debido al proceso mismo de la detección. Posteriormente, este ruido es incrementado por problemas en cables, conexiones, circuitos eléctricos y grabación

de la señal. Este tipo de ruido es muy difícil de separar de la señal de interés y puede ocasionar serios problemas si es mayor a ella.

Cuando se tiene una combinación de varios tipos de ruido se llama a esto ruido blanco por analogía con la luz. La combinación de todos los colores del espectro de luz da por resultado luz blanca; y de ahí el término usado en ruido.

Un concepto útil en análisis de ruido es el de Densidad Espectral de Potencia que es una función que da información sobre el comportamiento de un sistema respecto a la frecuencia. El Espectro de Potencia del ruido blanco es constante para cualquier frecuencia y esto es una de las principales características de este ruido.

La forma del Espectro de Potencia de un reactor nuclear indica la ocurrencia de fenómenos en su interior como pueden ser vibraciones de alguna estructura o ebullición del refrigerante. La forma del espectro también se ha utilizado para prever y diagnosticar malfuncionamientos del reactor y determinar parámetros cinéticos del mismo.

Más adelante se explicará como se obtiene un Espectro de Potencia a partir de la señal que sale de un detector colocado en las cercanías del núcleo de un reactor. En seguida se explican algunos conceptos útiles en el análisis de ruido neutrónico.

En el Análisis de Ruido Neutrónico la herramienta matemática más importante es la Transformada de Fourier.

Esta transformación permite pasar del dominio del tiempo al de la frecuencia para una función dada y, viceversa. La transformada de Fourier para una función continua en el tiempo $x(t)$, está dada por:

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \exp(-j\omega t) dt$$

Donde $X(\omega)$ es la transformada de Fourier de $x(t)$ y

j es el número imaginario $\sqrt{-1}$

La operación contraria se denomina Transformada Inversa de Fourier y esta definida por:

$$x(t) = (1/2\pi) \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) \exp(j\omega t) d\omega$$

De manera similar éstas transformaciones pueden ser definidas para funciones discretas y finitas. A ésta forma se le llama Transformada Discreta de Fourier (DFT). Si se tiene una serie de datos discretos y repartidos a intervalos iguales en el tiempo x_t , la DFT se define como:

$$A_{\omega} = \sum_{t=0}^{N-1} x_t \exp(-2\pi j\omega t/N) \quad \omega = 0, \dots, N-1 \quad (1)$$

Donde A_{ω} es el ω -ésimo coeficiente de la DFT

N es el número de muestras en la serie de x_t

La ecuación (1) puede ser escrita como sigue:

$$A_{\omega} = \sum_{t=0}^{N-1} x_t W^{\omega t} \quad \omega = 0, \dots, N-1 \quad (2)$$

$$W = \exp(-2\pi j/N) \quad (3)$$

La transformada inversa de Fourier para una serie discreta está definida por:

$$x_t = 1/N \sum_{\omega=0}^{N-1} A_{\omega} W^{-\omega t} \quad \omega = 0, \dots, N-1 \quad (4)$$

En la práctica es de mayor interés calcular la transformada de Fourier de una función discreta que de una continua. Además cuando se transforman una gran cantidad de muestras la serie casi se hace continua, siendo esto un objetivo a buscarse para obtener mejores resultados.

Sin embargo surge el problema de evaluar esta sumatoria cuando N es muy grande. Si $N = 1024$ muestras, métodos directos de evaluación requerirían hacer N^2 operaciones, es decir más de un millón para este ejemplo.

Ante ésta dificultad existe un algoritmo rápido y eficiente que calcula los coeficientes de la DFT. Este algoritmo se llama FFT (Fast Fourier Transform) o Transformada Rápida de Fourier. El algoritmo FFT realiza menos operaciones y elimina muchos errores de redondeo reduciendo el tiempo de computación de los coeficientes. Si N tiene la forma $N = 2^n$, el algoritmo requiere solo de $2nN$ operaciones para calcular la DFT. Para el caso de $N = 1024$ se efectúan 20480 operaciones, es decir 50 veces menos que por métodos directos. El secreto del algoritmo es que obtiene los coeficientes de manera iterativa.

Este algoritmo trabaja de la siguiente manera:

Sea $\bar{X} = (X_0, X_1, X_2, \dots, X_{N-1})$ una serie de datos dependientes del tiempo y $N = 2^n$. La idea es dividir a \bar{X} en dos subseries de $N/2$ puntos cada una y aplicarles la ecuación (2). Esta operación debe repetirse sucesivamente a las series resultantes hasta que finalmente cada una de ellas contenga una sola muestra. La transformada discreta de un punto es él mismo.

Por ejemplo, dividiendo a \bar{X} en dos subseries se obtiene:

$$\begin{aligned} \bar{Y} = X_{2t} &= (X_0, X_2, X_4, \dots) & t &= 0, 1, \dots, N/2 - 1 \\ \bar{Z} = X_{2t+1} &= (X_1, X_3, X_5, \dots) \end{aligned}$$

La ecuación de DFT para cada serie es

$$B_\omega = \sum_{t=0}^{N/2-1} y_t \exp(-4\pi j\omega t/N) \quad \omega = 0, \dots, N/2-1 \quad (5)$$

$$C_\omega = \sum_{t=0}^{N/2-1} z_t \exp(-4\pi j\omega t/N) \quad \omega = 0, \dots, N/2-1 \quad (6)$$

Por lo tanto

$$A_\omega = \sum_{t=0}^{N/2-1} \{ y_t \exp(-4\pi j\omega t/N) + z_t \exp[-2\pi j\omega N(2t+1)] \}$$

con

$$\omega = 0, 1, \dots, N/2-1 \quad (7)$$

$$A_\omega = \sum_{t=0}^{N/2-1} \{ y_t \exp(-4\pi j\omega t/N) + \exp(-2\pi j\omega N) z_t \exp(-4\pi j\omega t/N) \}$$

$$A_{\omega} = B_{\omega} + \exp(-2\pi j\omega/N) C_{\omega} \quad 0 \leq \omega \leq N/2 \quad (8)$$

Sustituyendo $\omega + N/2$ por ω en (8) se obtiene

$$A_{\omega+N/2} = B_{\omega} - \exp(-2\pi j\omega/N) C_{\omega} \quad 0 \leq \omega \leq N/2 \quad (9)$$

y por la ecuación (3)

$$A_{\omega} = B_{\omega} + W^{\omega} C_{\omega} \quad (10)$$

$$0 \leq \omega \leq N/2$$

$$A_{\omega+N/2} = B_{\omega} - W^{\omega} C_{\omega} \quad (11)$$

Las ecuaciones (10) y (11) dan los N coeficientes de la DFT de la serie \bar{X} . Aplicando n veces el razonamiento anterior a las subseries \bar{Y} y \bar{Z} y sus series resultantes se va a llegar a calcular la DFT de un punto, es decir:

$$M_{\omega} = \sum_{l=0}^{N/N-1} m_l \exp(-4\pi j\omega l/N) \quad \omega = 0, \dots, N/N-1$$

$$M_{\omega} = \sum_{l=0}^0 m_l \exp(-4\pi j\omega l/N) \quad \omega = 0$$

$$M_0 = m_0 \exp(-4\pi j\omega(0)/N)$$

$$M_0 = m_0$$

Una vez hecho esto, se sigue un proceso contrario (de series de pocos datos a series de muchos datos) para encontrar los coeficientes de la DFT de la serie \bar{X} .

1.4

FUNCION DE DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA

La función de densidad espectral de potencia proporciona la composición frecuencial de una señal cualquiera y está definida como el valor cuadrático medio de $x(t)$ sobre el intervalo de tiempo T de su definición. Matemáticamente se tiene:

$$G_x(f) = \frac{2}{T} |X(f)|^2$$

Donde $G_x(f)$ es el Auto Espectro de Potencia de la señal $x(t)$

$X(f)$ es la Transformada de Fourier de $x(t)$

Quando se tienen dos señales distintas $x(t)$ y $y(t)$, puede ser definido el Espectro Cruzado de Potencia de las dos señales de la siguiente manera:

$$G_{xy}(f) = \frac{2}{T} X^*(f) Y(f)$$

Donde $G_{xy}(f)$ es el Espectro Cruzado de Potencia de $x(t)$ y $y(t)$

$X^*(f)$ es el conjugado complejo de la Transformada de Fourier de $x(t)$

$Y(f)$ es la transformada de Fourier de $y(t)$

El nombre de Densidad Espectral de Potencia proviene de la analogía que tiene su definición con la potencia disipada por un resistor ($P = RI^2$), además de que el área bajo su curva es una cantidad de energía por unidad de frecuencia. Estos espectros pueden ser convertidos a unidades de decibeles (Db) con las siguientes relaciones:

$$P_x(f) = 10 \text{ Log}(G_x(f)) \quad \text{y} \quad P_{xy}(f) = 5 \text{ Log}(G_{xy}(f))$$

El concepto de Coherencia se define como una magnitud que indica el grado de correlación entre dos señales distintas. Dicho de otro modo, dadas dos señales $x(t)$ y $y(t)$, se dice que son totalmente coherentes o correlacionadas si su Coherencia es 1. Por el contrario, si la Coherencia es cero, las señales son incoherentes o no-correlacionadas.

De este modo, señales estadísticamente independientes son totalmente incoherentes y señales de naturaleza común deben tener alta coherencia. Distintas señales pueden estar altamente correlacionadas en un rango de frecuencia o por el contrario, totalmente incoherentes en otro rango, por esto es común hablar de correlación entre dos señales en un rango específico de frecuencia sin importar lo que suceda fuera de él.

Matemáticamente la Coherencia está definida como:

$$\gamma_{xy}^2(f) = \frac{|G_{xy}(f)|^2}{G_x(f) G_y(f)}$$

Donde $\gamma_{xy}^2(f)$ es la función de Coherencia entre $x(t)$ y $y(t)$

$G_{xy}(f)$ es la Densidad Espectral Cruzada de $x(t)$ y $y(t)$

$G_x(f)$ es la Densidad Espectral de $x(t)$

$G_y(f)$ es la Densidad Espectral de $y(t)$

De la definición, es obvio que la siguiente relación debe cumplirse:

$$0 \leq \gamma_{xy}^2(f) \leq 1$$

CAPITULO 2: SISTEMA DE MEDICION Y GRABACION

El propósito de este trabajo es estimar la vida de los neutrones inmediatos del Reactor Triga Mark III del Centro Nuclear; para esto se requiere medir flujos de neutrones.

El equipo que se utilizó para medir el flujo de neutrones es:

Se colocaron dos cámaras de fisión cerca del núcleo del reactor, la señal de salida se conduce a un preamplificador, un filtro analógico y un amplificador y finalmente puede ser vista en un osciloscopio o grabarse en el disco duro de una computadora.

El interior de la cámara de fisión contiene U-235 y gas argón. La cámara está conectada a una fuente de voltaje que proporciona 600V positivos. Cuando un neutrón penetra a la cámara, fisiona a un núcleo de uranio y los fragmentos de fisión ionizan al gas. Los iones son atraídos a los electrodos al aplicarles el alto voltaje. Las cargas atraídas generan una corriente eléctrica durante el tiempo de su interacción. Esta corriente es la que se mide.

Sin embargo, en la fisión de U-235 ocurrida en el interior de la cámara, se desprenden neutrones que van a interaccionar con los demás núcleos de uranio y con productos de fisión de reacciones pasadas provocando pequeñas corrientes adicionales. Este es el tipo de ruido que ya se había mencionado anteriormente y que como se vé no se puede eliminar a menos que se cambie el tipo de detector.

Si se trabaja a alta potencia el flujo de neutrones que llega a la cámara también es alto y provocará que la corriente generada sea grande saturando al sistema. Por otro lado, si se

trabaja a baja potencia, y los detectores están muy cerca del núcleo del reactor, puede ocurrir lo mismo que en el caso anterior. Por lo tanto debe buscarse una potencia de reactor y una distancia detector-núcleo que no provoque saturación del sistema; además de que la señal generada por el ruido neutrónico sea mayor al ruido de fondo.

La señal es grabada de la siguiente manera. En la computadora se tiene instalada una tarjeta analógico-digital y un programa para controlarla. Esta tarjeta convierte una señal de voltaje en una serie de datos que representan el valor de la señal en diferentes intervalos de tiempo. La tarjeta está conectada a una terminal de conexiones la cuál sirve para enlazar a la computadora hasta 8 canales o entradas de señal provenientes de igual número de detectores; pero en este caso solo se usan dos entradas.

El programa que controla a la tarjeta requiere de la siguiente información:

- Número de canales que va a digitalizar, un nombre o etiqueta para identificarlos y una ganancia.
- La frecuencia de muestreo, es decir la velocidad con que va a digitalizar la señal. Por ejemplo, una frecuencia de muestreo de 1KHz significa que la tarjeta va a digitalizar 1000 datos o muestras en un segundo. Si se digitalizan dos canales, entonces la tarjeta reparte las 1000 muestras entre los dos canales de modo que el intervalo de tiempo entre dos muestras de un solo canal es de 0.002 segundos.
- El número de muestras que va a digitalizar.

Una vez proporcionada ésta información, la tarjeta comienza la digitalización. Los datos son guardados en disco en un archivo llamado 'DATA.DAT'. La información es guardada con un formato de registros, el primero contiene la información proporcionada por el usuario y los siguientes registros contienen las muestras almacenadas en forma binaria.

En la computadora también se tiene instalado un programa que calcula Espectros de Potencia y Coherencia de las señales digitalizadas usando el algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier. Finalmente muestra y salva las gráficas que se obtienen.

Existe un equipo llamado Analizador de Fourier HP 35665A, que puede hacer todo el proceso descrito anteriormente de una manera más rápida, ya que muestra los espectros en el mismo momento de digitalizar la señal del detector. Finalmente, permite salvar las gráficas en discos flexibles.

CAPITULO 3:

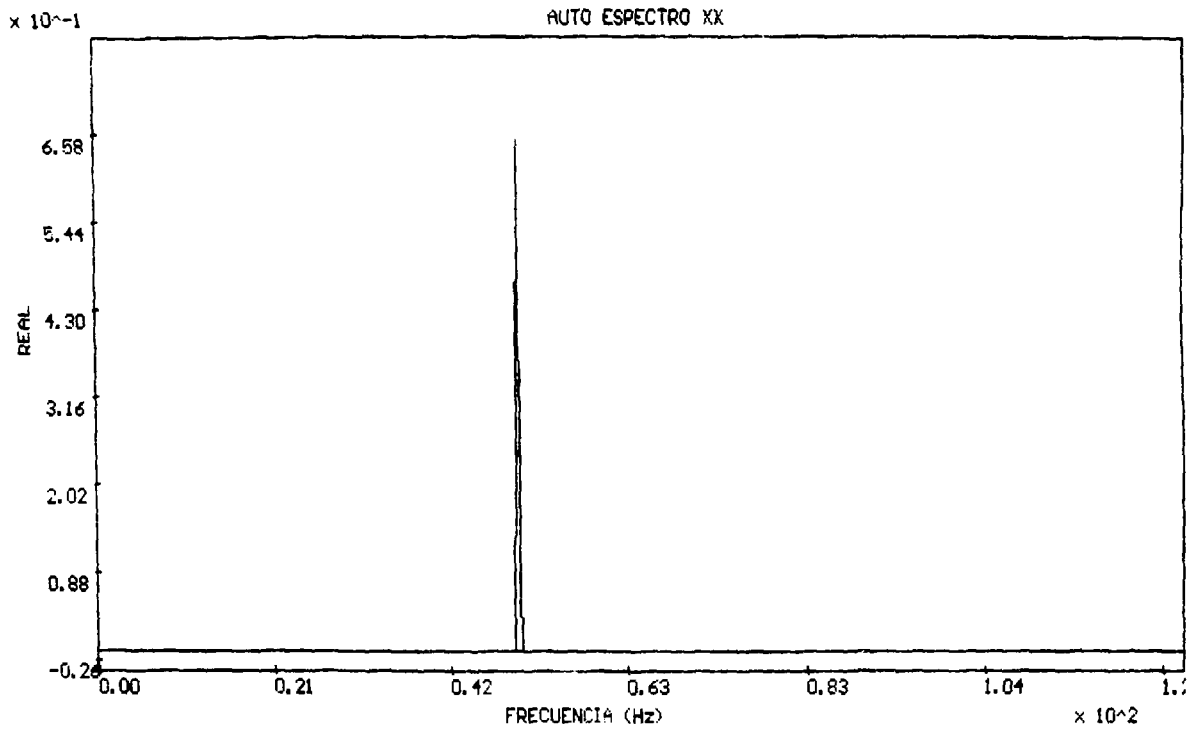
FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

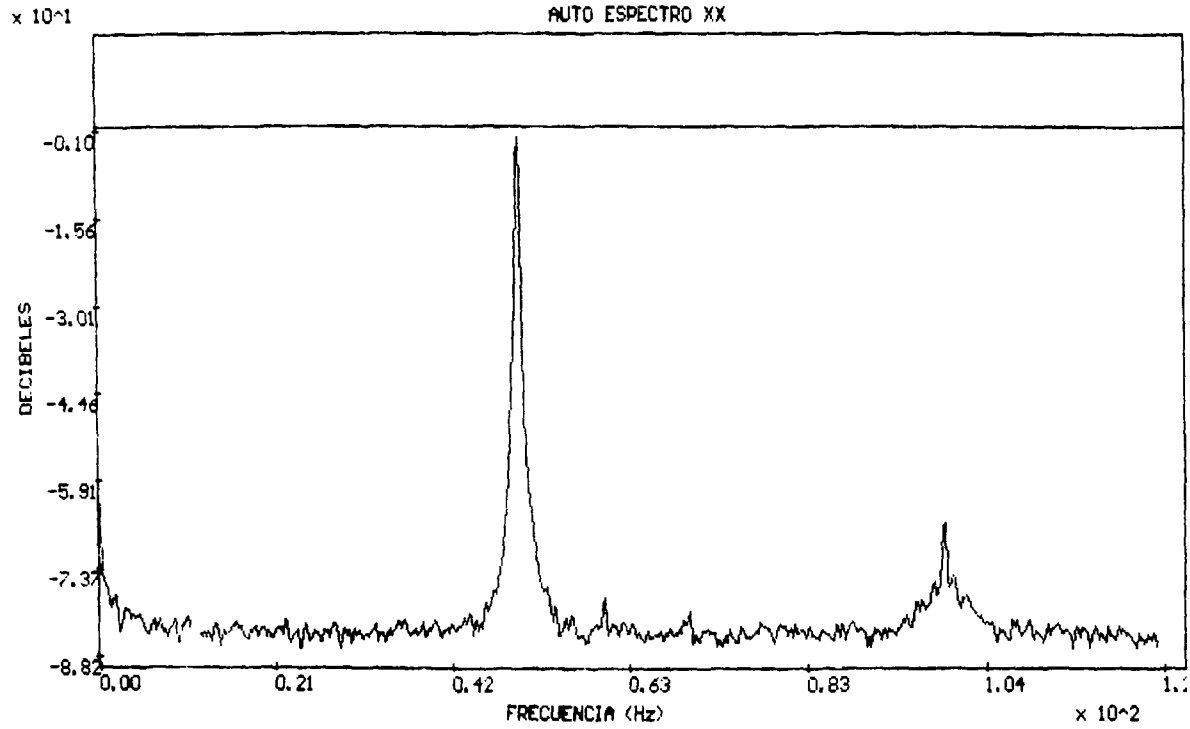
A continuación se muestran algunos resultados obtenidos con todo el sistema de medición. Se conectó un generador de señales a la computadora. Se introdujo una onda senoidal a la tarjeta ADC de 1 Volt de amplitud p-p y de 50 Hz. La tarjeta digitalizó la señal con una frecuencia de muestreo de 500 Hz. y ganancia de 1. Fueron grabados 45000 datos en dos canales. Se calculó el Espectro de Potencia de la señal de la siguiente manera: se usó el algoritmo FFT con $N = 1024$ puntos y promediando 20 bloques de datos de 1024 puntos cada uno.

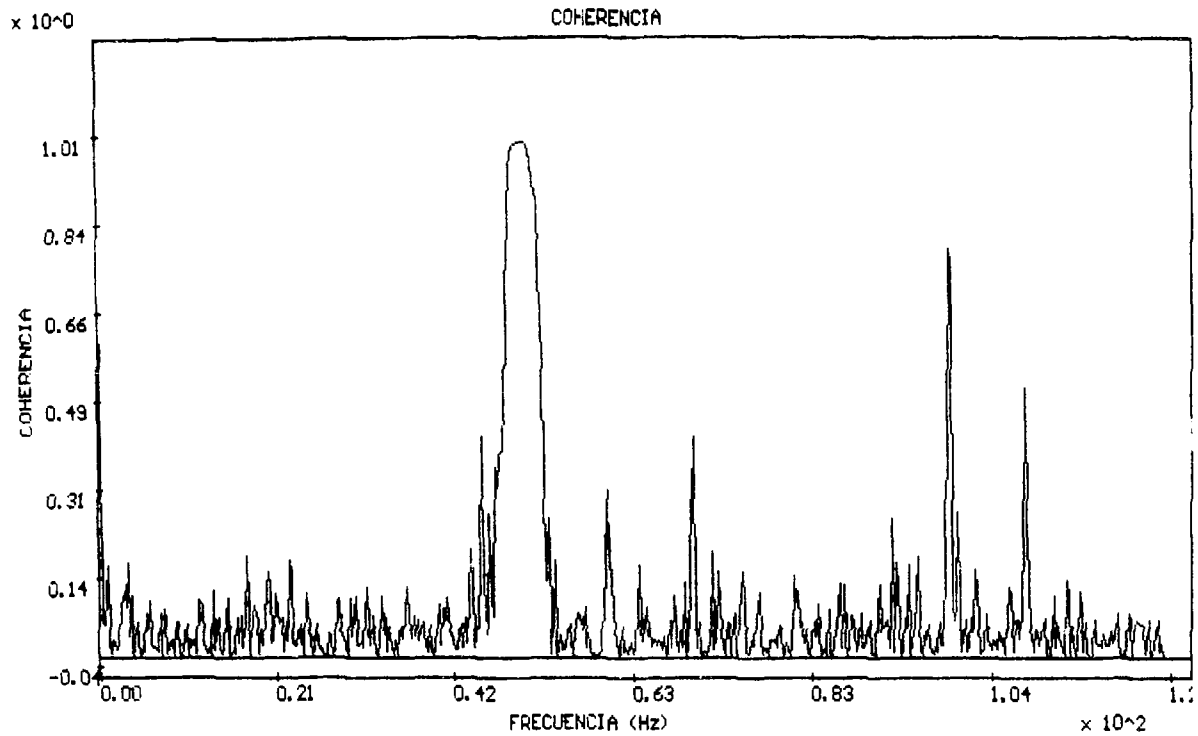
La gráfica obtenida se muestra en unidades de $G_x(f)$ y unidades de decibeles. En la primera, se vé unicamente un pico en 50 Hz. que corresponde a la frecuencia de la señal introducida. En la segunda gráfica (que es una escala logarítmica), se vé el pico de 50 Hz. y varios otros a diferentes frecuencias y de menor amplitud. En ésta gráfica se aprecia que la principal componente en frecuencia de la señal de entrada es la que corresponde a la onda senoidal, los demás picos indican ruidos o señales que se introducen al sistema en la digitalización de la señal. Cuando estos picos son grandes pueden "opacar" u "ocultar" la señal de interés, por lo que deben ser eliminados o reducidos al máxmo.

En la frecuencia de 100 Hz. aparece un pico que sobresale del promedio, este es un armónico de la frecuencia de 50 Hz. Aparece también un pico en 60 Hz. que es el de la línea de alimentación eléctrica, este pico es muy común observarlo en un espectro de frecuencias. La gráfica de Coherencia muestra que en 50 Hz. hay un máxmo de Coherencia; es decir, a ésta frecuencia los dos canales están altamente correlacionadas.

20







CAPITULO 4:

MODELO MATEMATICO PARA ESTIMAR LA VIDA DE NEUTRONES INMEDIATOS

La función de razón de conteo $\dot{C}(t)$ en un detector, puede ser idealizada como una función de pulsos de ancho cero y altura infinita:

$$\dot{C}(t) = \sum_{j=1}^{\text{EFT}} \delta(t - t_j) \quad (1)$$

Donde ϵ es la eficiencia del detector

F es la velocidad de razón de conteo

τ es el tiempo de conteo

$\delta(t-t_j)$ es una función impulso definida por

$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } t \neq 0 \\ \infty & \text{si } t = 0 \end{cases}$$

Además

$$\int_0^T \delta(t - t_j) dt = 1$$

De la ecuación (1) es obvio que

$$\int_0^T \dot{C}(t) dt = \text{EFT}$$

Luego, el espectro de potencia de $\dot{C}(t)$ es

$$\frac{1}{T} |\dot{C}(t)|^2 = \frac{1}{T} \left| \int_{-T/2}^{T/2} \sum_{j=1}^{\text{EFT}} \delta(t - t_j) e^{-i\omega t} dt \right|^2$$

$$\frac{1}{T} |\dot{C}(t)|^2 = \frac{1}{T} \left| \sum_{j=1}^{\text{EFT}} \int_{-T/2}^{T/2} \delta(t - t_j) e^{-i\omega t} dt \right|^2$$

$$\frac{1}{T} |\dot{C}(t)|^2 = \frac{1}{T} \left| \sum_{j=1}^{\text{EFT}} e^{-i\omega t_j} \right|^2$$

$$\frac{1}{T} |\dot{C}(t)|^2 = \frac{1}{T} | e^{-i\omega t_1} + e^{-i\omega t_2} + \dots + e^{-i\omega t_{\mathcal{EFT}}} |^2$$

$$\frac{1}{T} |\dot{C}(t)|^2 = \frac{1}{T} | \cos \omega t_1 - i \text{Sen} \omega t_1 + \dots + \cos \omega t_{\mathcal{EFT}} - i \text{Sen} \omega t_{\mathcal{EFT}} |^2$$

$$\frac{1}{T} |\dot{C}(t)|^2 = \frac{1}{T} \left[\{ \cos \omega t_1 + \cos \omega t_2 + \dots + \cos \omega t_{\mathcal{EFT}} \}^2 + \{ \text{Sen} \omega t_1 + \text{Sen} \omega t_2 + \dots + \text{Sen} \omega t_{\mathcal{EFT}} \}^2 \right]$$

$$\frac{1}{T} |\dot{C}(t)|^2 = \frac{1}{T} \left[\cos^2 \omega t_1 + 2 \cos \omega t_1 (\cos \omega t_2 + \dots + \cos \omega t_{\mathcal{EFT}}) + (\cos \omega t_2 + \dots + \cos \omega t_{\mathcal{EFT}})^2 + \text{Sen}^2 \omega t_1 + 2 \text{Sen} \omega t_1 (\text{Sen} \omega t_2 + \dots + \text{Sen} \omega t_{\mathcal{EFT}}) + (\text{Sen} \omega t_2 + \dots + \text{Sen} \omega t_{\mathcal{EFT}})^2 \right]$$

$$\frac{1}{T} |\dot{C}(t)|^2 = \frac{1}{T} \left[\sum_{j=1}^{\mathcal{EFT}} (\cos^2 \omega t_j + \text{Sen}^2 \omega t_j) + \sum_{j=1}^{\mathcal{EFT}} \sum_{k=1}^{\mathcal{EFT}} \cos \omega t_j \cos \omega t_k + \sum_{j=1}^{\mathcal{EFT}} \sum_{k=1}^{\mathcal{EFT}} \text{Sen} \omega t_j \text{Sen} \omega t_k \right]$$

$$\frac{1}{T} |\dot{C}(t)|^2 = \frac{1}{T} \left[\mathcal{EFT} + \sum_{j=1, k=j+1}^{\mathcal{EFT}} \cos \omega (t_j - t_k) \right]$$

Como la función coseno toma valores positivos y negativos, el promedio de ésta sumatoria puede ser despreciado respecto al primer término. De este modo:

$$\frac{1}{T} |\dot{C}(t)|^2 = \mathcal{EFT}$$

Sin embargo, debido a la naturaleza común de los

neutrones (una reacción en cadena), existen contribuciones correlacionadas entre las diferentes t_j . Esta contribución se encuentra utilizando el modelo de fuente de ruido blanco propuesta por Cohn. El espectro de potencia de ésta fuente de ruido $S(f)$ está dado por

$$\frac{1}{T} |S(f)|^2 = F \overline{\nu(\nu-1)} \quad (2)$$

Donde ν es el número de neutrones liberados por fisión.

Por otro lado, el comportamiento cinético de los neutrones en un reactor nuclear a cero potencia o potencias bajas, está descrito por la ecuación:

$$\frac{d\pi}{dt} = \frac{k_p - 1}{l} \pi + s \quad (3)$$

Donde π es el número de neutrones en un momento dado

s es la intensidad de una fuente de neutrones

l es la vida de los neutrones inmediatos

k_p es la constante de multiplicación de los neutrones inmediatos

Si vemos a $\pi(t)$ y $s(t)$ como espectros de Fourier, se tiene

$$\pi(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \Pi(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

$$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

Entonces la ecuación (3) se reduce a

$$d/dt \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \Pi(\omega) e^{i\omega t} d\omega \right\} = \frac{k_p - 1}{l} \int_{-\infty}^{\infty} \Pi(\omega) e^{i\omega t} d\omega + \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} d/dt \left\{ e^{i\omega t} \Pi(\omega) d\omega \right\} = \frac{k_p - 1}{l} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} \Pi(\omega) d\omega + \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} S(\omega) d\omega$$

$$i\omega \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} \Pi(\omega) d\omega \} = \frac{k-1}{-p-1} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} \Pi(\omega) d\omega + \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} S(\omega) d\omega$$

$$i\omega \pi(t) = \frac{k-1}{-p-1} \pi(t) + s(t)$$

Aplicando Transformada de Fourier a toda la ecuación se obtiene

$$i\omega \Pi(f) = \frac{k-1}{-p-1} \Pi(f) + S(f)$$

Esta ecuación puede ser reacomodada como sigue:

$$\frac{\Pi(f)}{S(f)} = 1 / \left[i\omega + \frac{1-k}{-p-1} \right] \quad (4)$$

Luego, el espectro dado en la ecuación (2), se convierte en una componente correlacionada del espectro de población de neutrones, al multiplicarse por el módulo al cuadrado de la ecuación (4). Por lo tanto el espectro queda como:

$$\frac{1}{T} |\Pi(f)|^2 = (F \overline{\nu(\nu-1)}) 1 / \left[\omega^2 + \left(\frac{k-1}{-p-1} \right)^2 \right]$$

Luego, la razón de conteo es ϵ veces la razón de fisión F , la cuál a su vez es $k_p/\nu l$ veces la población de neutrones; además agregando el término de ϵF encontrado anteriormente, se llega a:

$$P(\omega) = \epsilon F \left[1 + \epsilon \frac{\overline{\nu(\nu-1)}}{\nu^2} k_p^2 \frac{1}{l^2} 1 / \left[\omega^2 + \left(\frac{k-1}{-p-1} \right)^2 \right] \right] \quad (5)$$

Haciendo $A = \epsilon F$

$$B = \epsilon^2 F \frac{\nu(\nu - 1)}{\nu^2} \left[\frac{k}{-l} \right]^2$$

$$\alpha = \left[\frac{k - 1}{-l} \right]$$

Por lo tanto, la ecuación (5) se reduce a:

$$P(\omega) = A + \frac{B}{\alpha^2 + \omega^2} \quad (6)$$

A la constante α se le denomina Constante α -Rossi y también se define como $\alpha = \frac{\text{fracción de neutrones retardados } \beta}{\text{Vida de los neutrones inmediatos } l}$.

De ésta manera, para encontrar el tiempo de vida de los neutrones inmediatos, hay que calcular el espectro de potencia de una señal proveniente de un detector colocado cerca del núcleo del reactor, y ajustarlo a la ecuación (6). En el ajuste se deben de determinar las constantes A, B y α ; la vida de los neutrones será entonces

$$l = \beta/\alpha$$

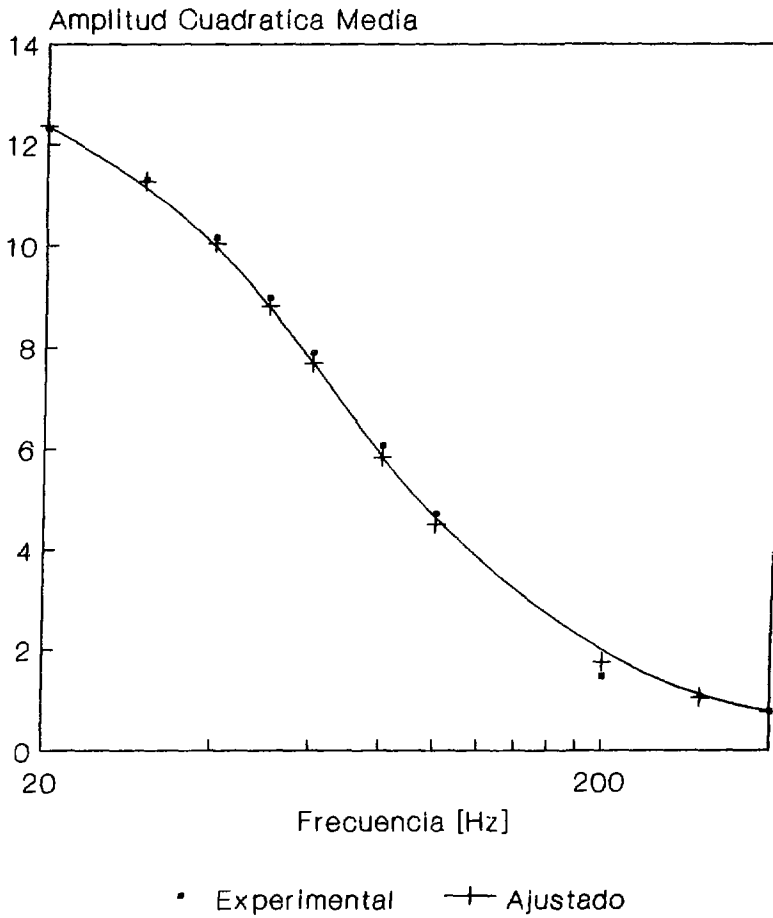
el valor de β depende del tipo de combustible que utiliza el reactor. Para U-235 es igual a 0.007:

$$l = 0.007/\alpha$$

obteniéndose l en segundos.

La siguiente curva muestra un Auto Espectro del Reactor ZPR-III de Argone obtenido a baja potencia. Esta forma de curva debe encontrarse para el reactor Triga.

Auto Espectro del ZPR-III Argone



CAPITULO 5: PROGRAMAS DE COMPUTADORA UTILIZADOS

A continuación se hace una breve descripción de los programas de computadora utilizados para estimar la vida de los neutrones inmediatos. Se utilizaron tres programas para la digitalización y procesamiento de señales, y cuatro programas para ajuste y suavización de espectros. En el Apéndice A se anexan los listados de los programas de ajuste y suavizamiento.

5.1 PROGRAMA TAR

El programa Tar se implementó para hacer más rápido y dinámico el procesamiento de series de datos. Este programa simplemente es un código maestro que hace llamadas a otros dos programas, a través de menús. Para la digitalización de señales llama al programa ATLEX03.PAS y para calcular transformadas de Fourier, espectros y funciones de correlación, al programa CAR915.FOR.

La secuencia de trabajo del programa TAR está esquematizada en la fig. 1. El programa CAR915 trabaja según lo indica la fig. 2.

5.2 PROGRAMA SUMA1.PAS

Este programa está diseñado para ajustar la ecuación $P(\omega) = A + B / (C + \omega^2)$ por el método de Mínimos Cuadrados. El programa trabaja de la siguiente manera:

Sean $Y = P(\omega)$ y $X = \omega$.

El programa ajusta la ecuación anterior bajo la forma de:

$$Y = A_1 + A_2 X^2 - A_3 Z$$

donde $A_1 = A + B/C$

$$A_2 = A/C \qquad Z = X^2 Y$$

$$A_3 = 1/C$$

Al ajustar una serie de datos a una curva dada $Y(x)$ buscamos que

$$S = \sum (Y_i - Y(x))^2 \qquad \text{sea mínimo}$$

es decir

$$S = \sum (Y_i - A_1 - A_2 X^2 + A_3 Z)^2 \qquad \text{sea mínimo}$$

Para que esto suceda debe ocurrir que:

$$\partial S / \partial A_1 = 0 ; \quad \partial S / \partial A_2 = 0 \quad \text{y} \quad \partial S / \partial A_3 = 0$$

De ésta manera se obtienen tres ecuaciones con tres incógnitas. La solución de este sistema da los valores de las constantes A_1 , A_2 y A_3 .

El planteamiento y solución del sistema de ecuaciones da por resultado las siguientes ecuaciones que determinan el valor de las constantes.

$$F_1 = N \sum X^4 - (\sum X^2)^2$$

$$F_2 = N \sum X^2 Z - \sum Z \sum X^2$$

$$F_3 = N \sum Z - \sum X^2 \sum Y$$

$$F_4 = N \sum Z^2 - (\sum Z)^2$$

$$F_5 = \sum Z \sum X^2 - N \sum ZX^2$$

$$F_6 = \sum Y \sum Z - N \sum YZ$$

y las funciones auxiliares:

$$F_7 = \sum YZ$$

$$F_8 = \sum Z$$

$$F_9 = \sum X^2$$

$$F_{10} = \sum X^4$$

$$F_{11} = \sum X^2Z$$

Por lo tanto, las constantes A_1 , A_2 y A_3 se calculan de:

$$A_3 = (F_1 F_6 + N F_9 F_{11}) / (F_1 F_4 + F_2 F_5)$$

$$A_2 = (A_3 F_2 + F_3) / F_1$$

$$A_1 = (F_8(Y) + A_3 F_8(Z) - A_2 F_9) / N$$

$F_8(Y)$ Y $F_8(Z)$ indica que es la ecuación F_8 evaluada para cada uno de los argumentos especificados. N es el número de puntos de la serie. Las sumatorias están evaluadas desde 1 hasta los N puntos.

El programa Sumai.Pas tiene el diagrama de bloques representado en la figura 3.

5.3 PROGRAMA SUMA2.PAS

Este programa está implementado para ajustar la ecuación $P(\omega) = A + B / (C + \omega^2)$ por el método de Mínimos Cuadrados. Trabaja de la siguiente manera:

Sean $Y = P(\omega)$ y $X = \omega$.

El programa ajusta la ecuación anterior bajo la forma de:

$$Z = E + FX^2$$

donde $E = C/B$

$$F = 1/C$$

$$Z = 1/(Y-A)$$

Al ajustar una serie de datos a una curva dada $Y(x)$

buscamos que

$$S = \sum (Y_i - Y(x))^2 \quad \text{sea mínimo}$$

es decir

$$S = \sum (Y_i - E - FX^2)^2 \quad \text{sea mínimo}$$

Para que esto suceda debe ocurrir que:

$$\partial S / \partial E = 0 \quad \text{y} \quad \partial S / \partial F = 0$$

De ésta manera se obtienen dos ecuaciones con dos incógnitas. La solución de este sistema da los valores de E y F. Así se obtiene que si

$$\begin{aligned} F_1 &= \sum X \\ F_2 &= \sum X^2 \\ F_3 &= \sum X^2 Z \\ F_4 &= \sum X^4 \end{aligned}$$

Entonces

$$F = (N F_3 - F_1 F_2) / (N F_4 - (F_2)^2)$$

$$E = (F_1 - F F_2) / N$$

Las sumatorias están evaluadas desde 1 hasta N, con N el número de puntos de la serie.

Sin embargo surge el problema del cálculo de A.

Esta constante se obtiene de manera iterativa según:

- 1.- El primer valor de A es cero.
- 2.- Se calcula $Z = 1 / (Y - A)$.
- 3.- Se calculan E y F.
- 4.- Se calculan B y C.
- 5.- Se recalcula $A = Y(N) - (Y(1) - Y(N)) / 10$.
- 6.- Se recalcula $Y = A + B / (C + X^2)$.
- 7.- Si $A_i - A_{i-1} < 10^{-6}$ entonces termina
Si no, regresar a 2.- .

El programa Suma2.Pas tiene el diagrama de bloques representado en la figura 4.

5.4 PROGRAMA AJUSTE.PAS

El método empleado por este programa fué consultado de la referencia [3].

La idea del algoritmo es ajustar la mejor curva de la división de dos polinómios que tengan la forma:

$$Y = \frac{A + Cx + Ex^2 + \dots}{1 + Bx + Dx^2 + \dots}$$

Es decir

$$Y = A - Bxy + Cx - Dx^2y + Ex^2 + \dots$$

Por lo tanto, para la ecuación $Y = A + \frac{B}{c + \omega^2}$, sean

$$A_1 = A + B/C$$

$$A_2 = A/C$$

$$A_3 = 1/C$$

$$Y = A_1 + A_2x^2 - A_3x^2y$$

El algoritmo de este libro ajusta la curva por el método de mínimos cuadrados. Procede a determinar los siguientes arreglos: $\bar{Y} = y_i$, $U_{i,1} = 1$, $U_{i,2} = x^2$ y $U_{i,3} = -x^2y$; de modo que $\bar{Y} = U \cdot \bar{A}$ ($\bar{A} = \langle A_1, A_2, A_3 \rangle$). El siguiente paso es resolver el sistema de ecuaciones por el método de Gauss-Jordan, para conocer el valor de las constantes A_1, A_2, A_3 y posteriormente los valores de A, B y C. Finalmente se imprimen resultados.

Este programa está diseñado para suavizar curvas de cualquier tipo.

La forma de suavización es como sigue:

El i -ésimo valor de la curva suavizada se define como

$$Z_i = \frac{Y_{i-k/2} + Y_{i-k/2+1} + \dots + Y_i + Y_{i+1} + \dots + Y_{i+k/2}}{k}$$

$$i = k - 1 \dots N$$

Donde N es el número de puntos de la curva.

k es el orden de suavizamiento.

Como se vé el suavizamiento es un promedio de bloques de k datos cada uno. El valor de la abcisa correspondiente al i -ésimo valor Z_i se obtiene con la misma ecuación cambiando las Y 's por X 's.

Al suavizarse una curva debe escogerse siempre, una k pequeña, ya que de lo contrario puede perderse mucha información de la curva.

El programa lee datos de un archivo de disco y procede a suavizarla con el orden que proporciona el usuario. Finalmente salva en disco la curva resultante. Este método fué tomado de la referencia [4].

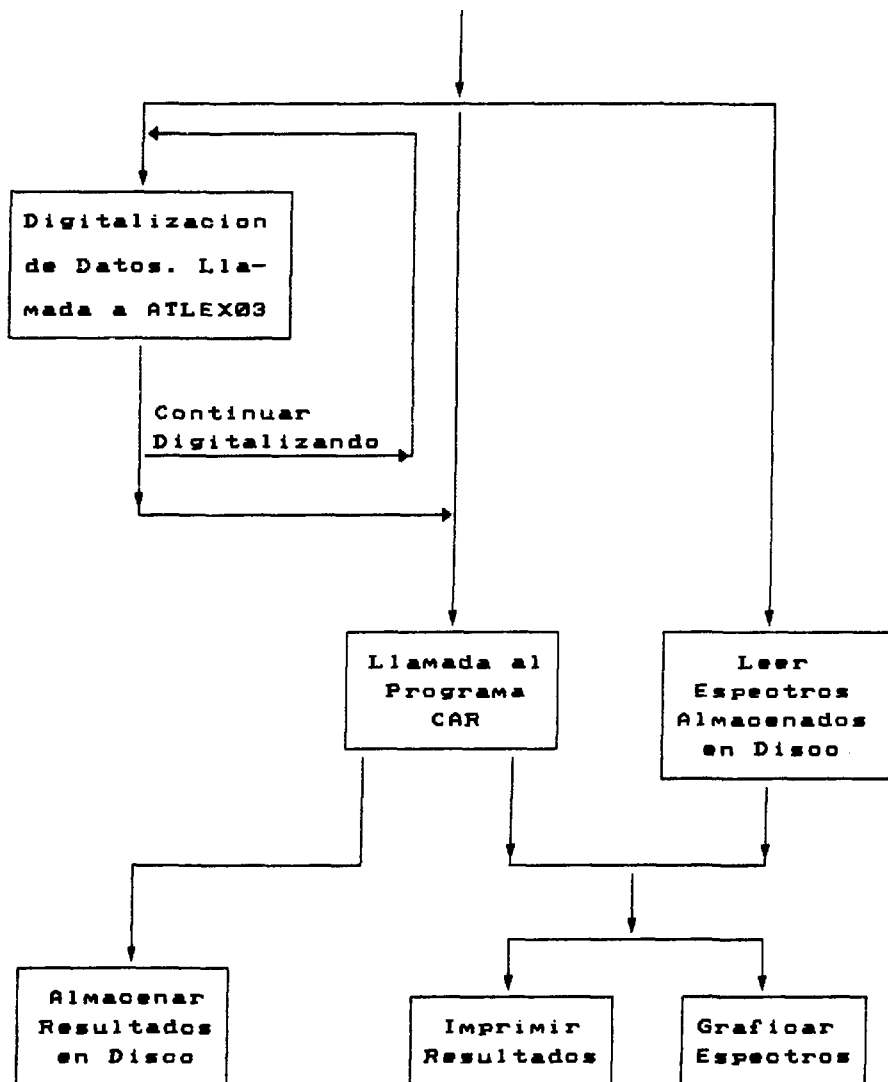


FIG.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROGRAMA TAR

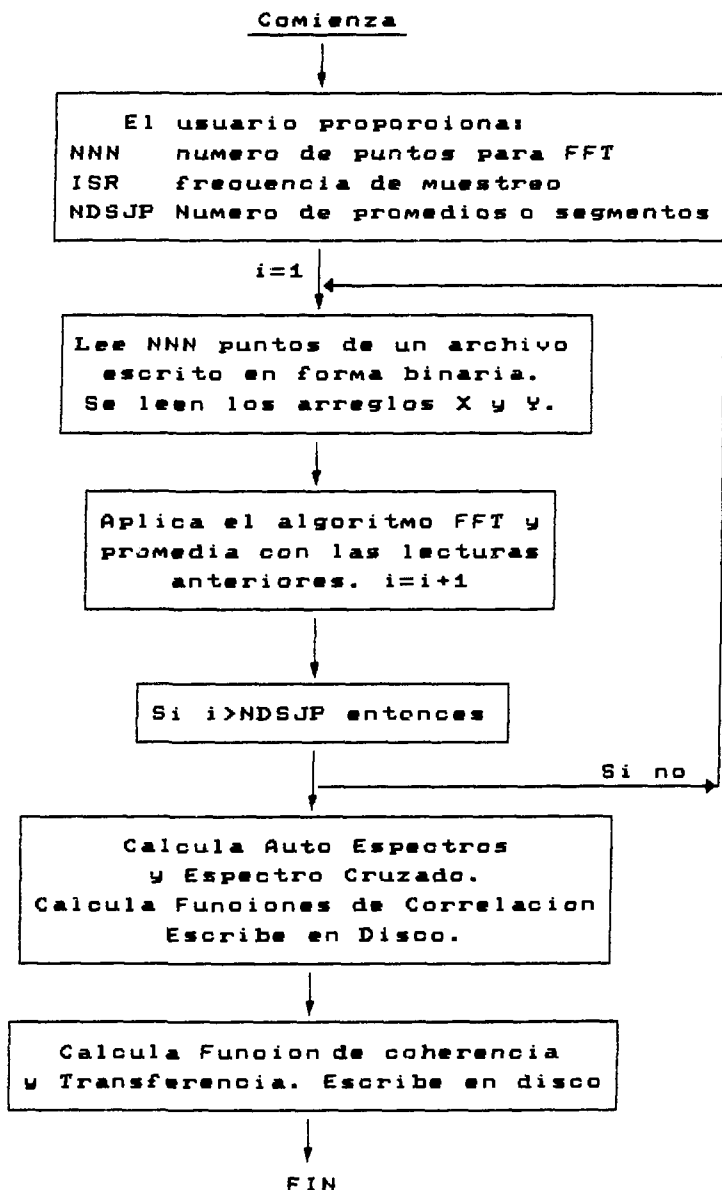


FIG.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROGRAMA CAR

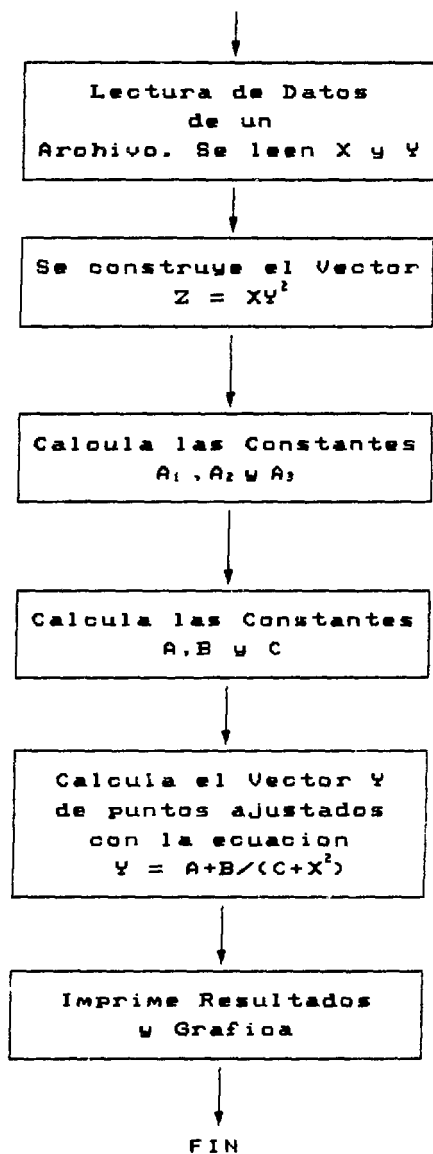


FIG.3: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROGRAMA SUMA1.PAS

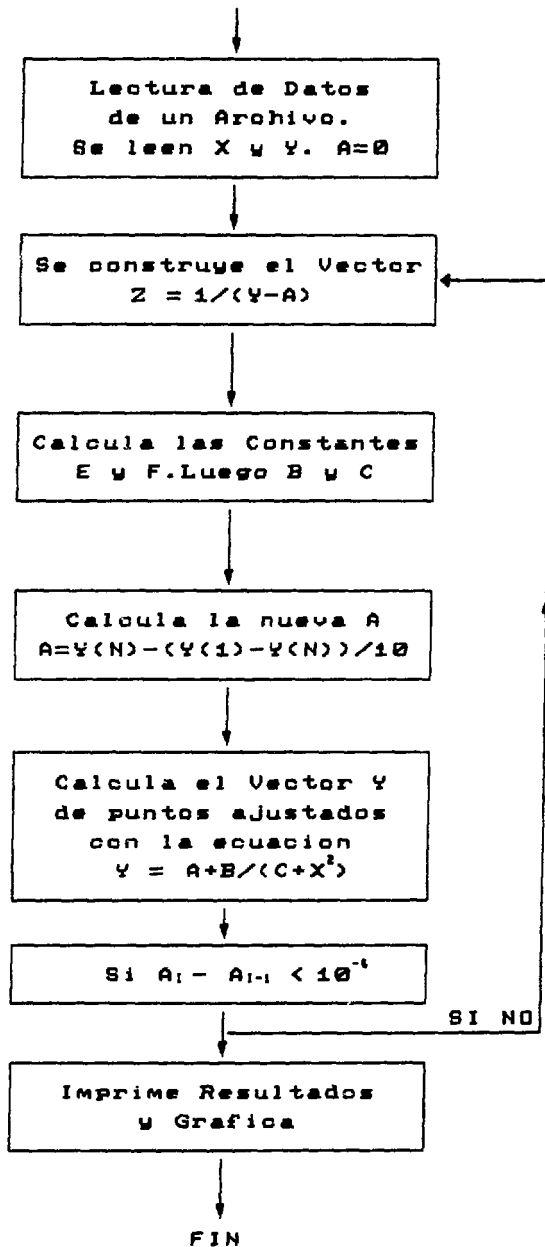


FIG.4: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROGRAMA SUMA2.PAS

En la determinación de la vida de los neutrones inmediatos del reactor Triga, las cámaras de fisión fueron colocadas en dos sitios distintos, el Tubo Tangencial TW1 y el Cuarto de Exposición (fig.5).

La primera posición que se utilizó fué la del tubo tangencial TW1 donde fueron colocadas en la boca del tubo. Al llevar el reactor a potencia, se observó que el ruido de fondo era aproximadamente igual al ruido neutrónico, y sin encontrarse buenos resultados. En ésta posición, las cámaras estaban muy lejos del núcleo del reactor por lo que se trabajó a potencias de hasta 100 y 500 W_t . Finalmente, se optó por cambiar las cámaras al cuarto de exposición.

Sin embargo, las experiencias realizadas en el tubo ayudaron a establecer un rango de frecuencias donde se apreciaba la forma de la ecuación (6) desarrollada anteriormente (frecuencias de 10 - 300 Hz. aprox.). En ésta posición se trabajó en diferentes rangos de frecuencias del filtro analógico y posteriormente, con filtros digitales sin que se obtuvieran resultados satisfactorios.

En el cuarto de exposición, las cámaras fueron colocadas prácticamente frente al núcleo del reactor (a 50 cms); esto propició que se observara una buena señal de ruido neutrónico a 1, 5 y 10 W_t de potencia. Sin embargo, hasta este momento se habían utilizado amplificadores y preamplificadores de la marca Ortec que solo respondían a frecuencias superiores a 200 Hz. y no era posible encontrar un espectro correcto a menos que se acudiera

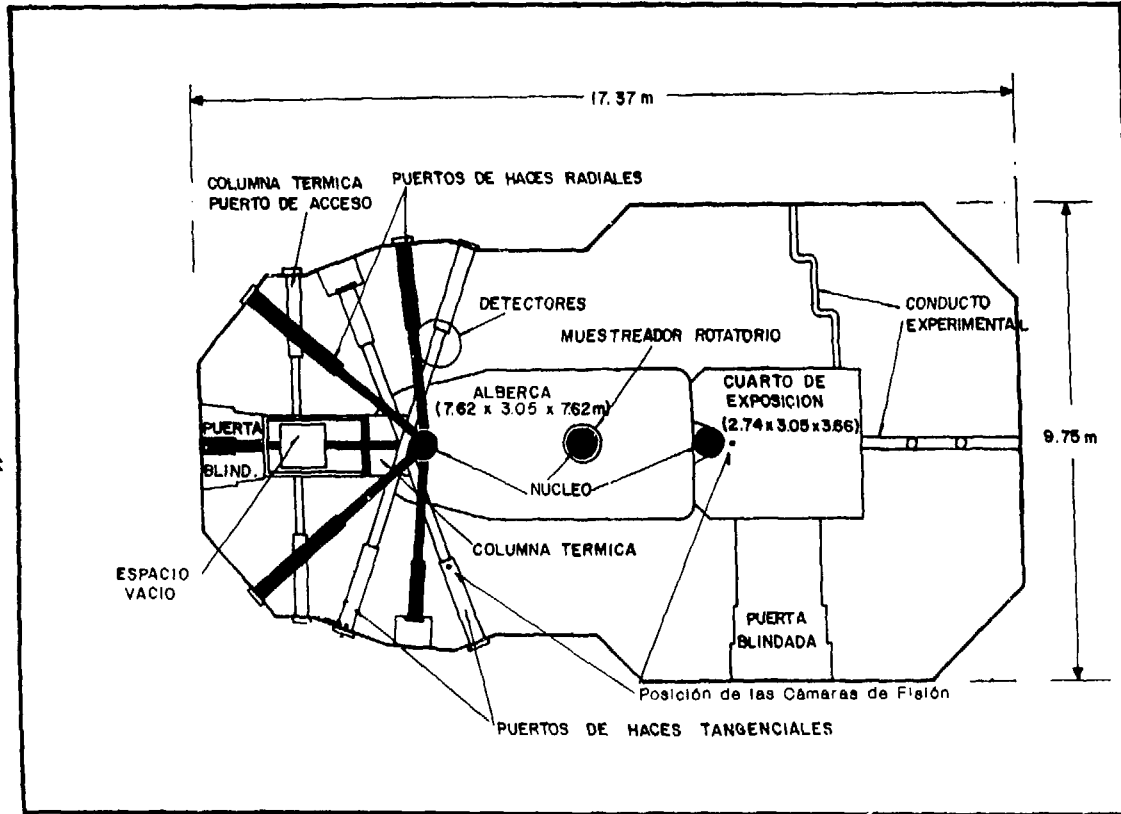


Fig. 5 Colocación de las cámaras en el reactor

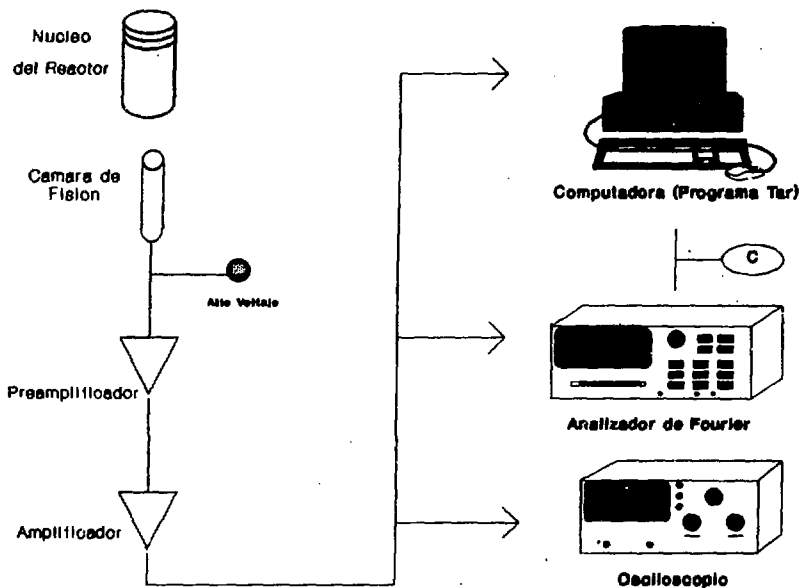
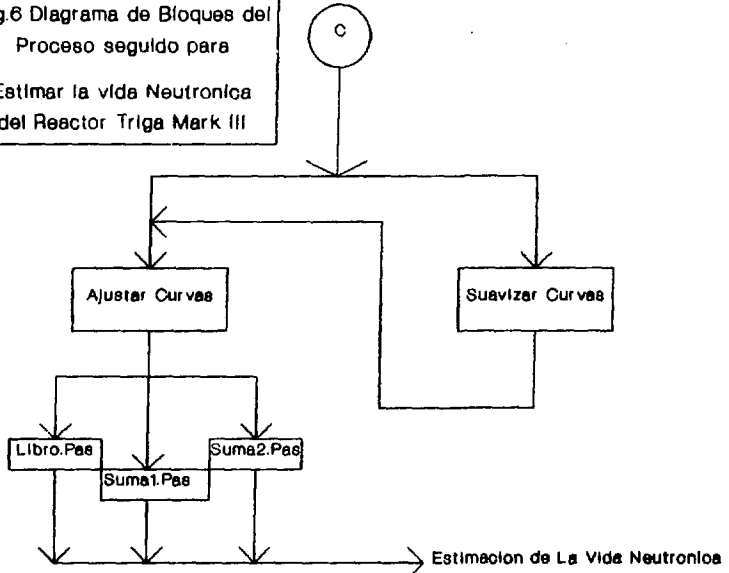


Fig.6 Diagrama de Bloques del
 Proceso seguido para
 Estimar la vida Neutronica
 del Reactor Triga Mark III



a un proceso de suavizamiento. Por esto se optó por emplear amplificadores y preamplificadores diseñados en el Instituto para bajas frecuencias. De este modo se obtuvieron espectros nítidos para estimar la vida de los neutrones inmediatos. El proceso que se siguió se muestra en el diagrama de bloques de la figura 6.

Las curvas obtenidas fueron ajustadas con los tres programas disponibles encontrandose resultados similares. El programa de suavizamiento de curvas se aplicó (como ya se dijo) a espectros irregulares pero que seguían el comportamiento esperado.

En la figura 7 se grafican por un lado, valores de vida neutrónica; y por otro, la cantidad de mediciones efectuadas.

Histograma de Vida Neutrónica Reactor Triga Mark III

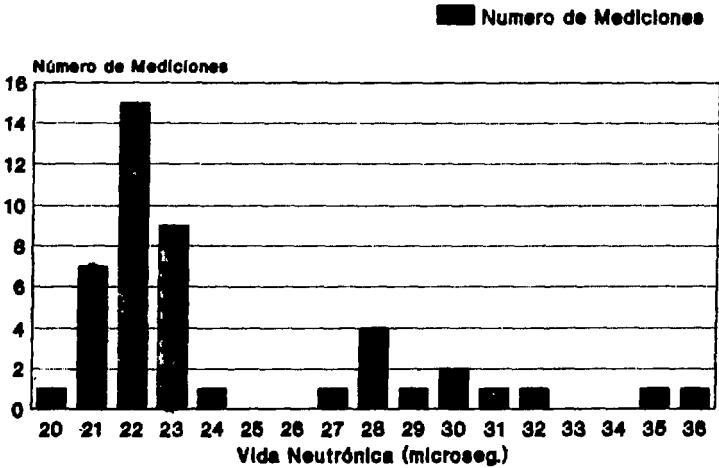


Figura No. 7

En ésta gráfica se aprecia que la mayoría (el 73.9%) de los ajustes realizados, se encuentran entre los 20 y 24 μ s; otra parte (el 21.7%) se concentra entre 27 y 32 μ s; y el resto son eventos aislados.

La mayor cantidad de ajustes entre 20 y 24 μ s permite desechar las curvas restantes. La razón de la desviación de aquellas puede ser debido a que en el momento de la medición, el reactor aún se hallaba caliente por irradiaciones anteriores.

El valor de la vida neutrónica para cada potencia y canal trabajado es:

<u>Potencia</u>	<u>CH1</u>	<u>CH2</u>
1W	22.15 \pm 0.53	22.29 \pm 0.70
5W	22.61 \pm 0.96	22.27 \pm 1.40
10W	22.87 \pm 0.63	23.01 \pm 0.42

Y para la computadora

<u>Potencia</u>	<u>CH1</u>	<u>CH2</u>
5 W	22.54 \pm 0.44	23.63
10W	23.5 \pm 0.31	23.13

Analizando estos resultados rápidamente, resalta el hecho de que la vida neutrónica aumenta con la potencia, sin embargo esto no puede tomarse como tal, ya que la desviación entre el valor máximo y mínimo no es mayor al 3%. Además, debido a que se trabaja a potencias muy bajas, la absorción, difusión y multiplicación de neutrones; no es afectada por procesos extraños como aumento de temperatura u oscilaciones de las barras de

control. Por esto, es válido tomar un promedio de los valores encontrados para cada potencia. Este promedio es para cada canal y equipo de:

<u>Equipo</u>	<u>CH1</u>	<u>CH2</u>
Analizador de Fourier	22.64 ± 0.83	22.54 ± 0.96
Computadora	22.99 ± 0.61	23.38 ± 0.25

Cabe señalar que algunas de las mediciones de 1W fueron realizadas todavía con los equipos de Ortec y suavizadas posteriormente.

Estos experimentos bien pudieron hacerse con una sola cámara de fisión. La razón de utilizar dos, fué para tener más herramientas de comparación. En este caso se aprecia que los resultados obtenidos en los dos canales son similares, y en realidad no debería esperarse que fueran diferentes. Debido a que los dos detectores están "viendo" el mismo fenómeno, es justificable hacer un promedio de ambos canales en cada equipo. Este resultado se muestra a continuación sin tomar en cuenta las mediciones hechas con los equipos de Ortec.

Analizador de Fourier	22.73 ± 0.92	(4.04%)
Computadora	23.14 ± 0.54	(2.33%)

Estos resultados también son similares, sin embargo el valor obtenido con la computadora es ligeramente mayor (2%) al encontrado con el analizador de Fourier. Ambos resultados son buenos, los rangos de desviación en los dos casos se traslapan indicando una vida neutrónica entre 22 - 23 μ s.

Las gráficas y tablas 1 a 8 muestran algunos de los ajustes realizados. La gráfica 9 muestra auto espectros obtenidos a 1, 5 y 10 W de potencia, en ella se aprecia que la forma de las curvas no varía entre una potencia y otra. Se especifica también el valor de la vida neutrónica para cada caso. En el apéndice B se anexa una lista con las mediciones mejor ajustadas.

Ahora lo que se hará es una comparación de este resultado, con el obtenido al resolver la ecuación cinética del reactor.

El fabricante del reactor Triga del Centro Nuclear reporta un valor de 36 μ s para la vida de los neutrones inmediatos. Sin embargo, la configuración original del núcleo ya no es la que se tiene actualmente, ya que está constituido de una mezcla de hidruro de zirconio y U-235 enriquecido al 70 %, además de contar con erbio como veneno consumible. La figura 8 muestra la configuración actual del núcleo del reactor.

J. Vlais [5] investigador del ININ, calculó parámetros cinéticos del reactor. Para este propósito se auxilió de varios programas de computadora que le ayudaron a resolver la ecuación de transporte de este reactor y a determinar secciones eficaces en diferentes puntos del reactor y para 69 grupos de energía de neutrones. Los parámetros, por él calculados fueron, entre otros, la vida neutrónica en el reactor, reactividad y fracciones de neutrones retardados. El valor encontrado fué de 22.3 μ s para el tiempo de vida de los neutrones inmediatos con un error no mayor al 5 %.

De este modo, se tiene un resultado acorde con el

resultado teórico. La desviación entre ambos no es mayor al 2% para el caso del analizador de Fourier y de 3.7% para la computadora.

TABLA No. 1

Archivo Ajustado: 910w41.ch1

Ajustado Mediante el Programa Sumai.Pas

α = 305.9979

A = -0.0000356765

B = 102242.7964

VIDA DE LOS NEUTRONES = 22.87 μ s

Auto Espectro obtenido a 10w de potencia en el cuarto de Exposición. Medido con el Analizador de Fourier.

FI(Hz)	Y	Yajus
16.00	0.98519	0.98552
20.00	0.90928	0.93432
25.00	0.84198	0.86417
32.00	0.79393	0.76262
40.00	0.67655	0.65202
48.00	0.57837	0.55385
55.00	0.47000	0.47985
60.00	0.43702	0.43364
64.00	0.40622	0.40038
70.00	0.35116	0.35611
80.00	0.29289	0.29521
90.00	0.24395	0.24728
96.00	0.21634	0.22346
100.00	0.19606	0.20930
112.00	0.16692	0.17359
120.00	0.14740	0.15438
128.00	0.13352	0.13805
135.00	0.11965	0.12570
144.00	0.10764	0.11204
160.00	0.08852	0.09255
176.00	0.07395	0.07762
192.00	0.06274	0.06597
208.00	0.05520	0.05671
224.00	0.04903	0.04925
240.00	0.04395	0.04315

TABLA No. 2

Archivo Ajustado: 41w1kha.ch2

Suavizado con $k = 5$

Ajustado Mediante el Programa Libro.Pas

$\alpha = 327.6320$

$A = 0.0065$

$B = 102.5522$

VIDA DE LOS NEUTRONES = 21.36 μs

Espectro Cruzado obtenido a 1 W de potencia en el cuarto de Exposición. Filtrado analógico en modo pasabajas y frecuencia de corte en 1 KHz. Medido con el Analizador de Fourier.

f [Hz]	Y	Yajus
20.00	0.00742	0.00736
24.00	0.00735	0.00731
28.00	0.00729	0.00727
32.00	0.00725	0.00722
36.00	0.00715	0.00717
40.00	0.00707	0.00713
44.00	0.00706	0.00708
48.00	0.00703	0.00704
52.00	0.00696	0.00700
56.00	0.00695	0.00697
60.00	0.00693	0.00693
64.00	0.00688	0.00690
68.00	0.00686	0.00688
72.00	0.00686	0.00685
76.00	0.00686	0.00683
80.00	0.00683	0.00681
84.00	0.00677	0.00679

TABLA No. 3

Archivo Ajustado: 11xwp.ch1

Ajustado Mediante el Programa Libro.Pas

 $\alpha = 318.7775$ $A = 0.0065$ $B = 10759.3131$ VIDA DE LOS NEUTRONES = 21.95 μ s

Auto Espectro obtenido a 10 W de potencia en el cuarto de Exposición. Medido con el Analizador de Fourier.

F[Hz]	Y	Yajus
1.35	0.11013	0.11227
5.44	0.10886	0.11114
10.20	0.10696	0.10823
16.00	0.10478	0.10276
20.40	0.09937	0.09761
25.16	0.09240	0.09144
32.00	0.08285	0.08221
35.36	0.07911	0.07773
40.12	0.07278	0.07161
45.56	0.06519	0.06508
48.00	0.06148	0.06233
56.44	0.05380	0.05378
64.00	0.04645	0.04732
72.08	0.04114	0.04154
80.00	0.03628	0.03683
88.40	0.03291	0.03270
96.00	0.02940	0.02958
104.04	0.02721	0.02680

TABLA No. 4

Archivo Ajustado: 11xw2p.ch1

Ajustado con el Programa Libro.Pas

α = 310.7666

A = 0.0015

B = 6557.5814

VIDA DE LOS NEUTRONES = 22.52 μ s

Auto Espectro obtenido a 10 W de potencia en el cuarto de Exposición. Medido con el Analizador de Fourier.

F[Hz]	Y	Yajus
8.00	0.07127	0.06763
10.00	0.06969	0.06670
12.00	0.06838	0.06559
14.00	0.06637	0.06433
16.00	0.06463	0.06293
18.00	0.06260	0.06142
20.00	0.06134	0.05982
22.00	0.05928	0.05815
24.00	0.05716	0.05642
26.00	0.05440	0.05466
28.00	0.05149	0.05288
30.00	0.04997	0.05110
32.00	0.04841	0.04933
34.00	0.04687	0.04757
36.00	0.04442	0.04585
38.00	0.04266	0.04416
40.00	0.04078	0.04251
42.00	0.03912	0.04091
44.00	0.03761	0.03936
48.00	0.03573	0.03643
50.00	0.03447	0.03504
52.00	0.03296	0.03371
56.00	0.03027	0.03122
58.00	0.02915	0.03005
60.00	0.02807	0.02893

64.00	0.02662	0.02685
68.00	0.02486	0.02495
72.00	0.02274	0.02323
76.00	0.02127	0.02166
80.00	0.02000	0.02024
84.00	0.01899	0.01894
88.00	0.01761	0.01776
92.00	0.01658	0.01669
96.00	0.01554	0.01570
100.00	0.01523	0.01481
104.00	0.01433	0.01399
108.00	0.01341	0.01323
112.00	0.01311	0.01254
116.00	0.01247	0.01191
120.00	0.01180	0.01132
124.00	0.01127	0.01078
128.00	0.01047	0.01028
132.00	0.01002	0.00982
136.00	0.00961	0.00939
140.00	0.00928	0.00900
144.00	0.00863	0.00863
148.00	0.00823	0.00828
152.00	0.00790	0.00796

TABLA No. 5

Archivo Ajustado: 11xw3.ch1

Ajustado mediante el Programa Suma2.Pas

 $\alpha = 293.3355$

A = 0.0006

B = 1489.3011

VIDA DE LOS NEUTRONES = 23.86 μ s

Auto Espectro obtenido a 10 W de potencia en el cuarto de Exposición. Medido con el Analizador de Fourier.

F[Hz]	Y	Yajus
3.00	0.01909	0.01780
5.00	0.01683	0.01768
7.00	0.01810	0.01749
9.00	0.01809	0.01725
11.00	0.01716	0.01696
13.00	0.01641	0.01663
15.00	0.01752	0.01626
17.00	0.01641	0.01585
19.00	0.01656	0.01542
21.00	0.01569	0.01496
23.00	0.01406	0.01449
25.00	0.01347	0.01402
27.00	0.01339	0.01354
29.00	0.01259	0.01306
31.00	0.01271	0.01258
33.00	0.01167	0.01211
35.00	0.01195	0.01165
37.00	0.01074	0.01120
39.00	0.01048	0.01076
41.00	0.00966	0.01034
43.00	0.00964	0.00993
45.00	0.00898	0.00954
47.00	0.00876	0.00916
49.00	0.00840	0.00880
51.00	0.00790	0.00846

53.00	0.00807	0.00813
55.00	0.00769	0.00781
57.00	0.00713	0.00752
59.00	0.00700	0.00723
61.00	0.00680	0.00696
63.00	0.00655	0.00670
65.00	0.00604	0.00646
67.00	0.00602	0.00622
69.00	0.00607	0.00600
71.00	0.00542	0.00579
73.00	0.00548	0.00559
75.00	0.00552	0.00540
77.00	0.00505	0.00522
79.00	0.00499	0.00505
81.00	0.00488	0.00488
83.00	0.00490	0.00473
85.00	0.00447	0.00458
87.00	0.00466	0.00444
89.00	0.00430	0.00430
91.00	0.00458	0.00417
93.00	0.00411	0.00405
95.00	0.00379	0.00393
97.00	0.00381	0.00382
99.00	0.00386	0.00372
101.00	0.00382	0.00361
103.00	0.00363	0.00352
105.00	0.00331	0.00342
107.00	0.00347	0.00333
109.00	0.00324	0.00325
111.00	0.00327	0.00317
113.00	0.00305	0.00309
115.00	0.00313	0.00302
117.00	0.00317	0.00294
119.00	0.00289	0.00288
121.00	0.00279	0.00281

TABLA No. 6

Archivo Ajustado: 1310w1.ch2

Ajustado Mediante el Programa Libro.Pas

$\alpha = 306.7323$

A = 0.0093

B = 152481.4313

VIDA DE LOS NEUTRONES = 22.82 μ s

Auto Espectro obtenido a 10 W de potencia en el cuarto de Exposición. Medido con el Analizador de Fourier.

F[Hz]	Y	Yajus
24.00	1.44001	1.31453
32.00	1.16734	1.14291
40.00	0.95271	0.97867
48.00	0.78552	0.83334
56.00	0.67535	0.70912
64.00	0.57916	0.60544
72.00	0.50498	0.51973
80.00	0.44464	0.44906
88.00	0.38958	0.39070
96.00	0.34449	0.34230
104.00	0.30352	0.30194
112.00	0.26628	0.26806
120.00	0.24225	0.23945
128.00	0.22028	0.21512
136.00	0.20048	0.19430
144.00	0.18058	0.17638
152.00	0.16310	0.16085
160.00	0.15202	0.14734
168.00	0.13815	0.13550
176.00	0.12506	0.12509
184.00	0.11489	0.11589
192.00	0.10698	0.10772
200.00	0.09919	0.10044

TABLA No. 7

Archivo Ajustado: 1210w2p.ch2

Ajustado Mediante el Programa Libro.Pas

α = 305.6472

A = 0.0053

B = 296286.0559

VIDA DE LOS NEUTRONES = 22.90 μ s

Auto Espectro obtenido a 10 W de potencia en el cuarto de Exposición. Medido con el Analizador de Fourier.

F[Hz]	Y	Yajus
20.18	3.07500	2.71133
25.09	2.69600	2.51053
30.38	2.27800	2.28710
32.00	2.17431	2.21892
35.29	2.03790	2.08336
45.11	1.63200	1.71048
48.00	1.50477	1.61223
56.06	1.30300	1.36745
64.00	1.10938	1.16663
72.31	0.96262	0.99343
80.00	0.83301	0.86140
88.18	0.73418	0.74531
96.00	0.63550	0.65326
104.04	0.56962	0.57422
112.00	0.50177	0.50863
120.29	0.45570	0.45107
128.00	0.39939	0.40555
144.00	0.33205	0.33015

TABLA No. 8

Archivo Ajustado: 10w900h1.ch1

Ajustado Mediante el Programa Libro.Pas

$\alpha = 301.8895$

A = 0.0001

B = 271.2016

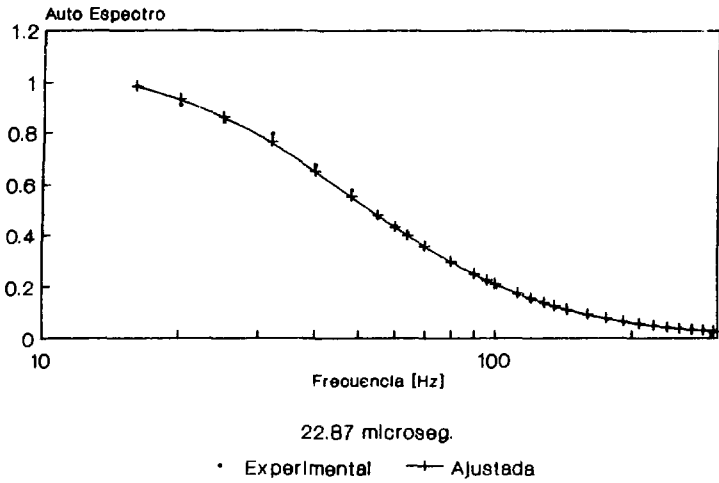
VIDA DE LOS NEUTRONES = 23.18 μ s

Auto Espectro obtenido a 10 W de potencia en el cuarto de Exposición. Medido con el ADC de la Computadora.

F[Hz]	Y	Ya Jus
3.91	0.00313	0.00304
7.81	0.00305	0.00298
11.72	0.00304	0.00289
15.62	0.00287	0.00278
19.53	0.00273	0.00264
23.44	0.00244	0.00249
27.34	0.00233	0.00233
31.25	0.00207	0.00218
35.16	0.00193	0.00202
39.06	0.00187	0.00188
42.97	0.00163	0.00174
46.87	0.00156	0.00161
50.78	0.00148	0.00149
54.69	0.00138	0.00138
58.59	0.00122	0.00128
62.50	0.00118	0.00119
66.41	0.00111	0.00111
70.31	0.00103	0.00103
74.22	0.00095	0.00096
78.12	0.00091	0.00090
82.03	0.00084	0.00084
85.94	0.00079	0.00079
89.84	0.00076	0.00075
93.75	0.00070	0.00070
97.66	0.00066	0.00066

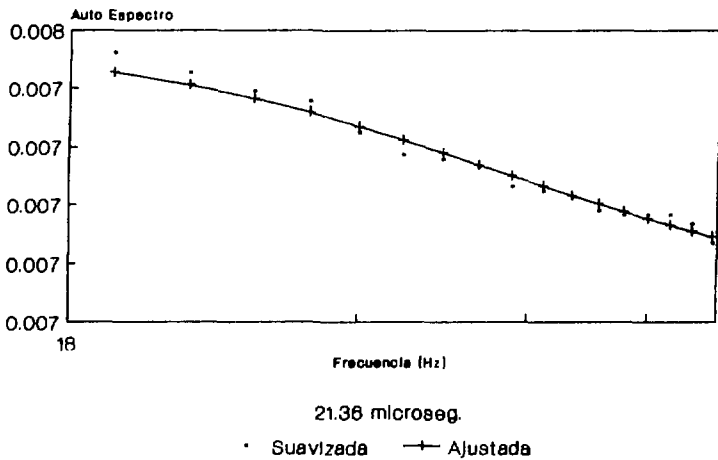
101.56	0.00066	0.00063
105.47	0.00059	0.00060
109.37	0.00056	0.00057
113.28	0.00055	0.00054
117.19	0.00052	0.00051
121.09	0.00049	0.00049
125.00	0.00047	0.00047
128.91	0.00044	0.00045
132.81	0.00044	0.00043
136.72	0.00044	0.00041
140.62	0.00040	0.00040
144.53	0.00038	0.00038
148.44	0.00037	0.00037
152.34	0.00035	0.00035

ESTIMACION DE LA VIDA DE LOS NEUTRONES
INMEDIATOS DEL REACTOR TRIGA MARK III



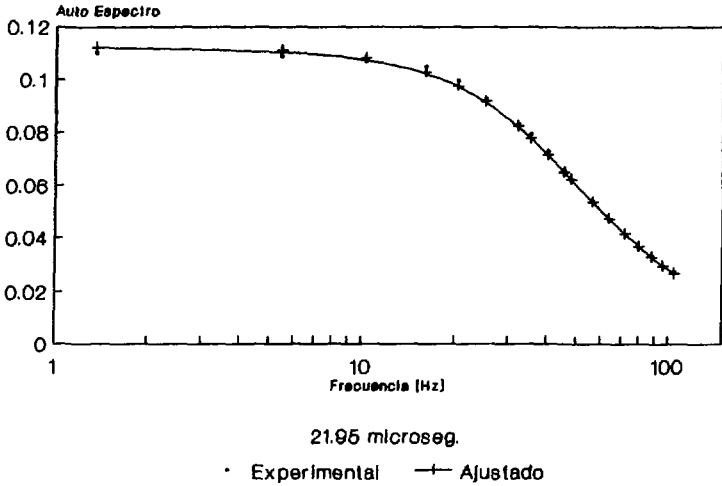
Gráfica No.1 Archivo 910w41.ch1

ESTIMACION DE LA VIDA DE LOS NEUTRONES
INMEDIATOS DEL REACTOR TRIGA MARK III
Curva Suavizada con $k = 5$



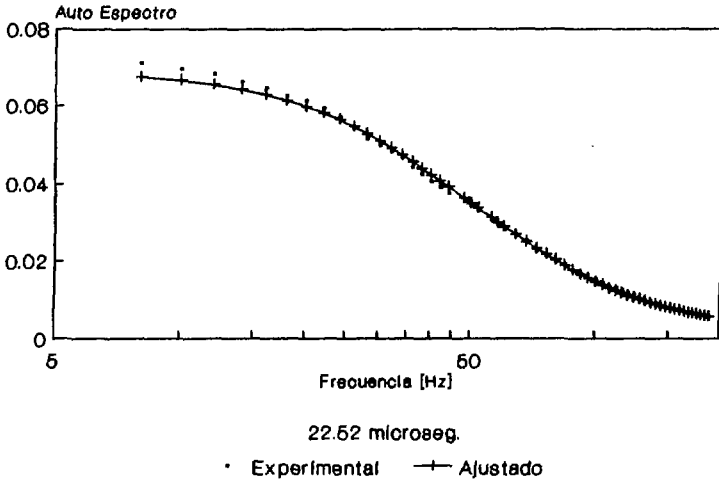
Gráfica No.2 Archivo 41w1kha.ch2

ESTIMACION DE LA VIDA DE LOS NEUTRONES
INMEDIATOS DEL REACTOR TRIGA MARK III



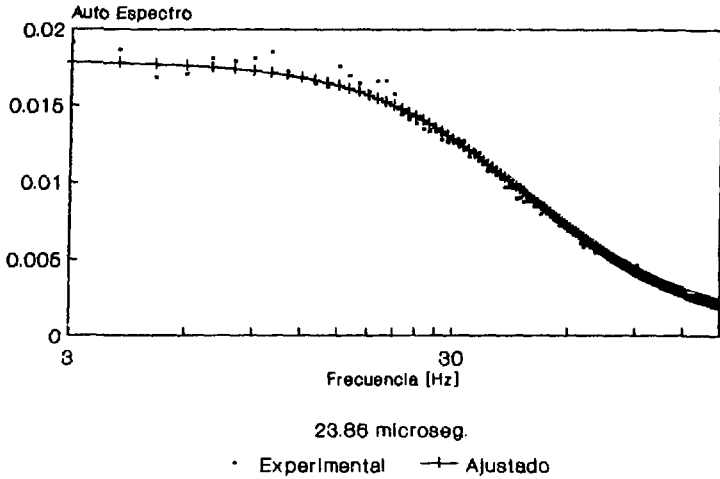
Gráfica No.3 Archivo 11xw.ch1

ESTIMACION DE LA VIDA DE LOS NEUTRONES
INMEDIATOS DEL REACTOR TRIGA MARK III



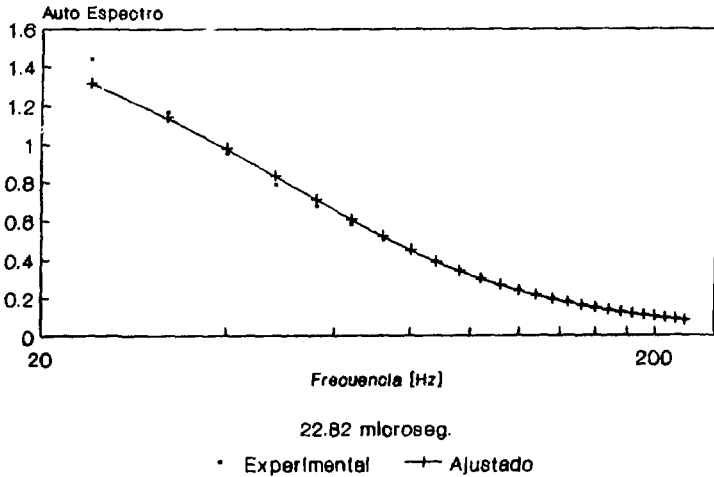
Gráfica No.4 Archivo 11xw2.ch1

ESTIMACION DE LA VIDA DE LOS NEUTRONES
INMEDIATOS DEL REACTOR TRIGA MARK III



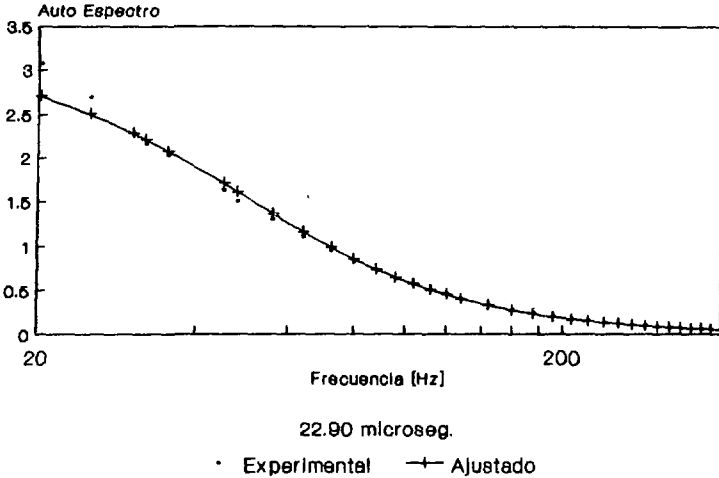
Gráfica No.5 Archivo 11xw3.ch1

ESTIMACION DE LA VIDA DE LOS NEUTRONES
INMEDIATOS DEL REACTOR TRIGA MARK III



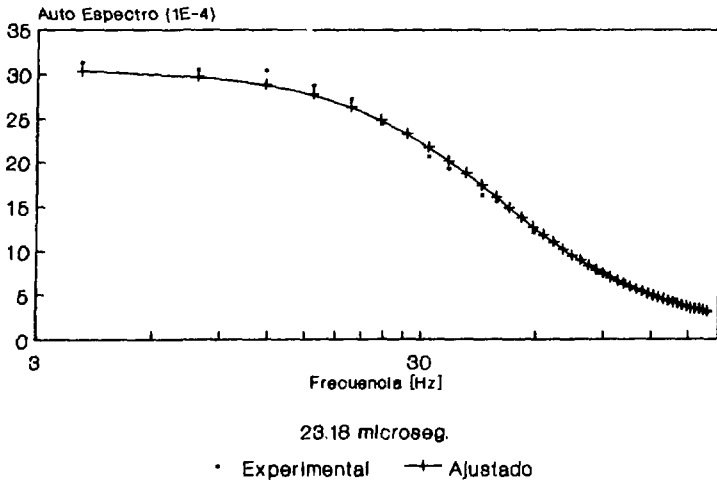
Gráfica No.6 Archivo 1310w1.ch2

ESTIMACION DE LA VIDA DE LOS NEUTRONES
INMEDIATOS DEL REACTOR TRIGA MARK III



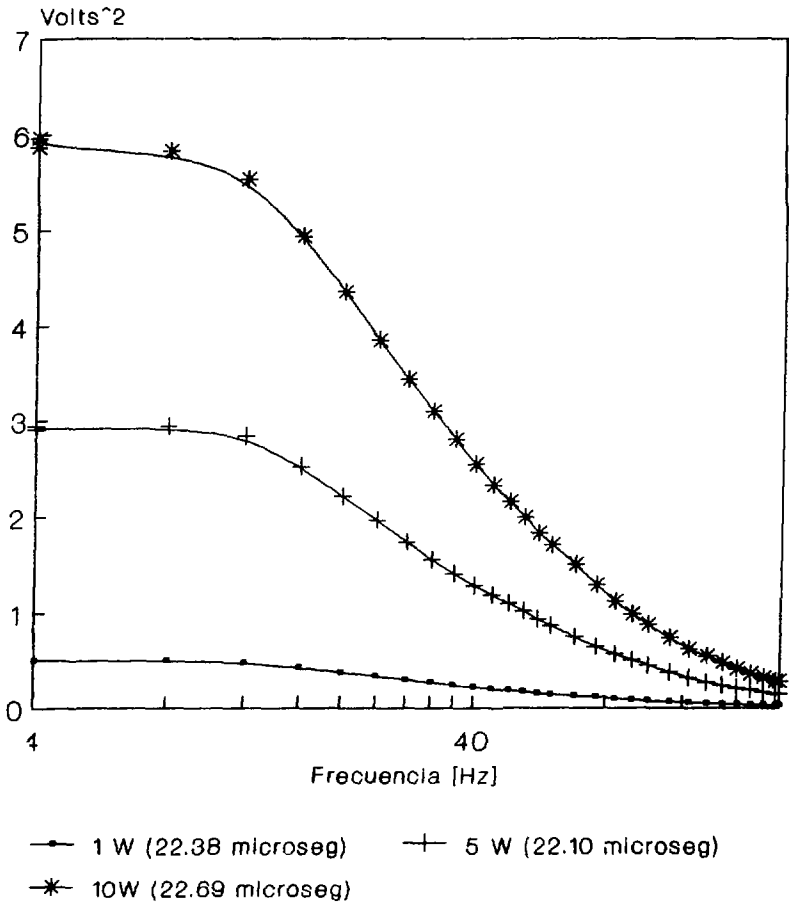
Gráfica No.7 Archivo 1210w2.ch2

ESTIMACION DE LA VIDA DE LOS NEUTRONES
INMEDIATOS DEL REACTOR TRIGA MARK III



Gráfica No.8 Archivo 10w900h.ch1

Auto Espectros a Diferentes Potencias
Reactor Triga Mark III



Gráfica No. 9

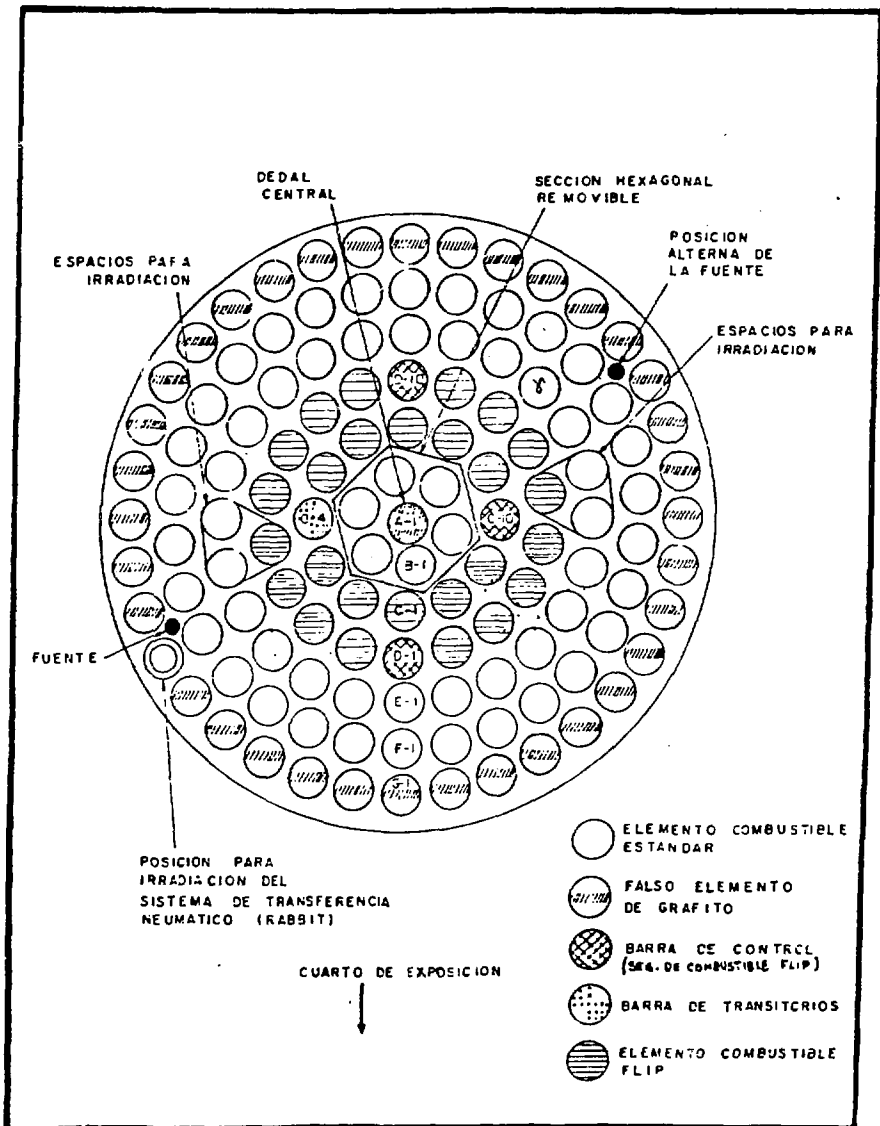


Figura 8: Configuración del Núcleo del Reactor Triga Mark III

CONCLUSIONES

El equipo empleado para estimar la vida de los neutrones inmediatos del reactor Trira no es muy sofisticado: dos cámaras de fisión, dos amplificadores y preamplificadores, dos filtros analógicos y una computadora con su tarjeta ADC. Todos son equipos fácilmente adquiribles en el mercado a un bajo costo. El analizador de Fourier utilizado es un equipo más especializado de alto costo; sin embargo, los resultados obtenidos con él, son similares a los de la computadora por lo que puede ser visto como un equipo opcional.

Lo anterior hace del análisis de ruido, una herramienta atractiva para ser aplicada en muchas actividades. Actualmente, su uso solo se ha limitado al estudio de reactores nucleares y a pocas incursiones a otras áreas, pero su aplicación puede extenderse a todas las ramas de la ingeniería. Basta elegir el detector o sensor adecuado a la aplicación que se quiere realizar: termopares, acelerómetros, detectores de radiación, etc.

Por ejemplo, un acelerómetro puede ser usado para medir el espectro de potencia de una máquina de partes rotatorias cuando opera en perfectas condiciones. Cualquier desviación de este "espectro patrón" indicará algún desgastamiento, desperfecto o vibración anormal en la máquina. Cuando se trata de máquinas pertenecientes a un tren de producción, el problema puede ser localizado colocando varios sensores en la máquina para obtener sus espectros; de este modo, mediante un método de triangulación se encuentra la falla sin necesidad de parar la máquina y afectar la producción. Incluso puede dar una idea del tiempo que habrá de pasar antes de que represente algún peligro.

De igual modo, si los sensores son termopares, puede medirse el espectro de potencia de un equipo térmico y el análisis de ruido ayudará a prever y corregir problemas en él.

Por otro lado, las técnicas de análisis de ruido también pueden ser aplicadas en medicina. Por ejemplo, debido a la similitud que existe entre el encefalograma de una persona epiléptica y la forma de las fluctuaciones de potencia en un reactor, un especialista podría hacer diagnósticos certeros por la simple inspección del encefalograma. Algunas ramas que ya han sido ayudadas por el análisis de ruido son las industrias química, de comunicaciones y la astronomía entre otras.

Sin embargo, en México ésta técnica ha sido estudiada muy poco, apenas si se ha utilizado para estudiar a los reactores nucleares. A continuación se hace una lista de algunas conclusiones de este trabajo:

- 1.- Los resultados obtenidos son satisfactorios ya que se estimó la vida neutrónica del reactor Triga Mark III con una desviación no mayor al 4% respecto a la obtenida mediante el cálculo teórico.
- 2.- La gran cantidad de espectros ajustados asegura la repetibilidad del experimento.
- 3.- Estos resultados también demuestran que el análisis de ruido es un buen método para ser aplicado con éxito en otras ramas de la ingeniería.

4.- Los resultados obtenidos con el analizador y la computadora son similares. Se comprobó que el software instalado en la computadora es confiable.

5.- Las curvas de los espectros obtenidos son más suaves y precisos que los reportados en la bibliografía. Esto demuestra el buen funcionamiento y calidad del equipo usado.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Analisis de Fourier
Hwei P. Hsu.
Fondo Educativo Interamericano S.A.
- 2.- An Introduction to Fourier Analysis
R. D. Stuart.
Science Paperbacks 1982.
- 3.- Basic Programs For Scientists And Engineers
Alan R. Miller.
SIBEX 1981
- 4.- Elementos de Probabilidad y Estadística
Onésimo Hernández Lerma UAMA
Fondo de Cultura Económica México 1979.
- 5.- Informe Tecnico It JN/AZ36/012
Cálculo de los Parámetros Cinéticos para las
Configuraciones 8 y 9 de Núcleo Mixto del Reactor Triga
Mark III del Centro Nuclear de México.
J. Vials Juarez. Sept. 1988
ININ División de Aplicaciones Energéticas
Gerencia de Sistemas Nucleares.
- 6.- Ingeniería de Reactores Nucleares
S. Glasstone.
Ed. Reverté S.A. 1968
- 7.- Random Data. Analysis And Measurements Procedures
J.S. Bendat y A.G. Piersol.
Wiley-Interscience USA 1971.
- 8.- Reactor Noise
Joseph A. Thie.

Rowman and Littlefield Inc. NY.

9.- Signal Processing Toolbox For Use With MatLab
User's Guide John Little and Loren Jhure
August 29 1988.

10.- What Is The Fast Fourier Transform ?
W.T. Cochram J.W. Cooley
IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics
Vol. Au-15, No.2, June 1967.

APENDICE A

LISTADOS DE PROGRAMAS

Ajuste.Pas

Suma1.Pas

Suma2.Pas

Suave.Pas

```

(*****
Programa que ajusta la curva  $Y = A + B/(C + w^2)$  por el metodo
propuesto en el libro "Basic Programs For Scientists And Engineers".
*****)

```

```
PROGRAM Hbro;
```

```
USES
```

```
GRT,PRINTER,GRAFIAJU;
```

```
TYPE
```

```
M1 = ARRAY [1..MAX,1..4] OF REAL; M2Z = ARRAY [1..4] OF REAL;
```

```
M2 = ARRAY [1..4,1..4] OF REAL; GOAC = STRING;
```

```
VAR
```

```
Y2,X,Y:XY; U:M1; B,A1:M2; C1,Z:M2Z;
```

```
N2,N:INTEGER; FIN:BOOLEAN; NOMBRE:GOAC;
```

```
FUNCTION ESE2 (Y2,Y:XY; N:INTEGER):REAL;
```

```
VAR
```

```
ER:REAL; I:INTEGER;
```

```
BEGIN
```

```
ER:=0;
```

```
FOR I:=1 TO N DO
```

```
ER:=ER + SQR(Y2[I] - Y[I]);
```

```
ESE2:=ER;
```

```
END;
```

```
PROCEDURE SACANOS (REGLON:GOAC;VAR NN:INTEGER);
```

```
VAR
```

```
APT:INTEGER;
```

```
BEGIN
```

```
APT:=1; NN:=0;
```

```
REPEAT
```

```
REPEAT
```

```
APT:=APT + 1
```

```
UNTIL (REGLON[APT] = ' ') OR (APT >= LENGTH(REGLON));
```

```
NN:=NN + 1;
```

```
REPEAT
```

```
APT:=APT + 1
```

```
UNTIL (REGLON[APT] <> ' ') OR (APT >= LENGTH(REGLON));
```

```
UNTIL (APT >= LENGTH(REGLON));
```

```
END;
```

```

PROCEDURE LEEXY (VAR X,Y:XY; VAR N2,N:INTEGER;NOMBRE:GOAC);
TYPE
  OISJ = ARRAY[1..3] OF REAL;
VAR
  ARCHIVO:TEXT;      NN,I,X1,X2:integer;      TECLA:CHAR;      RENGLON,ext:GOA
  Z:OISJ;
BEGIN
  WRITE ('MINIMA FRECUENCIA A LEER ');
  READLN (X1);
  WRITE ('MAXIMA FRECUENCIA A LEER ');
  READLN (X2);
  ASSIGN (ARCHIVO,NOMBRE);
  RESET (ARCHIVO);
  N:=1;
  READLN (ARCHIVO,RENGLON);
  SACANOS (RENGLON,NN);
  RESET(ARCHIVO);
  FOR I:=1 TO X1 DO
    READLN (ARCHIVO);
  REPEAT
    FOR I:=1 TO NN DO
      READ (ARCHIVO,ZI II);
      READLN (ARCHIVO);
      XIN:=2*PI(*ZI1);
      IF NN = 3 THEN
        YIN:=SQRT(SQR(ZI2)) + SQR(ZI3))
      ELSE
        YIN:=ZI2;
      EXT:=COPY (NOMBRE,LENGTH(NOMBRE)-2,LENGTH(NOMBRE) - 2);
      FOR I:=1 TO 3 DO
        EXTII:=UPCASE(EXTII);
      IF (EXT = 'C12') or (EXT = 'CH2') or (EXT = 'CH1') THEN
        YIN:=YIN/2;
      N:=N + 1
    UNTIL (N >= X2-X1) OR EOF(ARCHIVO);
  CLOSE (ARCHIVO);      N:=N - 1;
  WRITELN;
  WRITELN ('1: Y = B/(C + W^2)');

```

```

WRITELN ('2: Y = A + B/(C + W^2)');
WRITE ('AJUSTE A REALIZAR (1/2)?' );
REPEAT
  TECLA:=READKEY
UNTIL TECLA IN ['1','2'];
N2:=ORD(TECLA) - 47;
WRITELN;
END;

```

```

PROCEDURE ARMA_M1 (N,N2:INTEGER; X,Y:XY; VAR U:M1);
VAR
  I:INTEGER;
BEGIN
  FOR I:=1 TO N DO
    BEGIN
      UI,1:=1;
      IF N2 = 3 THEN
        BEGIN
          UI,2:=SQRT(XI);
          UI,3:=-YII*UI,2;
        END
      ELSE
        UI,2:=-YII*SQRT(XI);
      END;
    END;
  END;

```

```

PROCEDURE CONVIERTE (VAR A:M2;VAR Z:M2Z;U:M1; Y:XY ; N,n2:inTEGER);
VAR
  I,K,L:INTEGER;
BEGIN
  FOR K:=1 TO N2 DO
    BEGIN
      FOR L:=1 TO K DO
        BEGIN
          AIK,L:=0;
          FOR I:=1 TO N DO
            BEGIN
              AIK,L:=A[K,L] + UI,L)*UI,K;
            END;
          END;
        END;
      END;
    END;

```

```

        IF K <> L THEN
            A[L,K]:=A[K,L];
        END;
    END;
    Z[K]:=0;
    FOR I:=1 TO N DO
        Z[K]:=Z[K] + Y[I]*U[I,K];
    END;
END;

```

```

PROCEDURE GAUSS_JORDAN (VAR A,b:M2; VAR C1,Z:M2Z;N,N2:INTEGER);

```

```

    LABEL

```

```

        FIN;

```

```

    TYPE

```

```

        I2I = ARRAY [1..4,1..3] OF INTEGER;

```

```

    VAR

```

```

        I,J,K,L,L1,N3,I3,I4:INTEGER;           I2:I2I;           W:M2;

```

```

        H1,D3,B1,P1,T:REAL;

```

```

    BEGIN

```

```

        N3:=1;

```

```

        FOR I:=1 TO N2 DO

```

```

            BEGIN

```

```

                FOR J:=1 TO N2 DO

```

```

                    B[I,J]:=A[I,J];

```

```

                    W[I,1]:=Z[I];

```

```

                    I2[I,3]:=0;

```

```

                END;

```

```

            D3:=1;

```

```

            FOR I:=1 TO N2 DO           ( FOR GENERAL )

```

```

                BEGIN

```

```

                    B1:=0;

```

```

                    FOR J:=1 TO N2 DO

```

```

                        IF I2[J,3] <> 1 THEN

```

```

                            FOR K:=1 TO N2 DO

```

```

                                BEGIN

```

```

                                    IF I2[K,3] > 1 THEN

```

```

                                        BEGIN

```

```

                                            WRITELN ('MATRIZ SINGULAR ');           HALT

```

```

        END;
        IF I2(K,3) = 1 THEN
            GOTO FIN;
        IF B1 >= ABS(B(J,K)) THEN
            GOTO FIN;
        I3:=J;      I4:=K;
        B1:=ABS(B(J,K));
FIN:    END;
        I2(I4,3):=I2(I4,3) + 1;
        I2(I,1):=I3;
        I2(I,2):=I4;
        IF I3 <> I4 THEN
            BEGIN
                D3:=-D3;
                FOR L:=1 TO N2 DO
                    BEGIN
                        H1:=B(I3,L);
                        B(I3,L):=B(I4,L);
                        B(I4,L):=H1
                    END;
                IF N3 >= 1 THEN
                    FOR L:=1 TO N3 DO
                        BEGIN
                            H1:=W(I3,L);
                            W(I3,L):=W(I4,L);
                            W(I4,L):=H1
                        END;
                    END;
                P1:=B(I4,I4);
                D3:=D3*P1;
                B(I4,I4):=1;
                FOR L:=1 TO N2 DO
                    B(I4,L):=B(I4,L)/P1;
                IF N3 >= 1 THEN
                    FOR L:=1 TO N3 DO
                        W(I4,L):=W(I4,L)/P1;
                FOR L1:=1 TO N2 DO
                    IF L1 <> I4 THEN

```

```

        BEGIN
            T:=B[L1,I4];
            B[L1,I4]:=0;
            FOR L:=1 TO N2 DO
                B[L1,L]:=B[L1,L] - B[I4,L]*T;
            IF N3 >= 1 THEN
                FOR L:=1 TO N3 DO
                    W[L1,L]:=W[L1,L] - W[I4,L]*T;
                END;
            END; < FOR GENERAL >
        FOR I:=1 TO N2 DO
            BEGIN
                L:=N2-I+1;
                IF I2[L,1] <> I2[L,2] THEN
                    BEGIN
                        I3:=I2[L,1];
                        I4:=I2[L,2];
                        FOR K:=1 TO N2 DO
                            BEGIN
                                H1:=B[K,I3];
                                B[K,I3]:=B[K,I4];
                                B[K,I4]:=H1
                            END;
                        END;
                    END;
                END;
            FOR K:=1 TO N2 DO
                IF I2[K,3] <> 1 THEN
                    BEGIN
                        WRITELN ('MATRIZ SINGULAR '); HALT;
                    END;
                FOR I:=1 TO N2 DO
                    C1[I]:=W[I,1];
                END; < GAUSS JORDAN >
        END;

PROCEDURE CALCULA_ERRORES (VAR ER,DL,A3,ALFA:REAL;B1:M2);
VAR
    DA3,C1,C2,ALFA1,ALFA2,DALFA1,DALFA2,DALFA,L1,L2:REAL;
BEGIN

```

```

DA3:=ER*SQRT(B1[3,3]);
C1:=1/(A3 + DA3);      ALFA1:=SQRT(C1);
C2:=1/(A3 - DA3);      ALFA2:=SQRT(C2);
DALFA1:=ABS(ALFA - ALFA1);
DALFA2:=ABS(ALFA - ALFA2);
DALFA:=(DALFA1 + DALFA2)/2;      L1:=0.007/(ALFA + DALFA);
L2:=0.007/(ALFA - DALFA);      DL:=ABS<(L1 - L2)/2>;
END;

```

```

PROCEDURE SALIDA (VAR X,Y,Y2:XY;C1:M2Z;N,N2:INTEGER;VAR FIN:BOOLEAN;
B1:M2);
VAR
I:INTEGER; F,ER,DL:REAL;      A,B,ALFA,L:REAL;      E:XY;
ARCH:TEXT;      NOMBRE:STRING;      TECLA:CHAR;
BEGIN
IF N2 = 3 THEN
BEGIN
IF C1[3] >= 0 THEN
BEGIN
ALFA:=1/SQRT(C1[3]);      A:=C1[2]/C1[3];
B:=(1/C1[3])*(C1[1] - C1[2]/C1[3]);
L:=0.007*SQRT(C1[3]);
END;
FOR I:=1 TO N DO
BEGIN
F:=XII/(2*PI);
Y2[I]:=C1[1] + C1[2]*SQR(XII);
Y2[I]:=Y2[I]/(1 + C1[3]*SQR(XII));
IF YII < 0 THEN
E[I]:=100*(Y2[I]-YII)/YII
ELSE
E[I]:=0;      XII:=F;
END;
ER:=SQRT(ESE2(Y2,Y,N)/(N-3));
END
ELSE
BEGIN
IF C1[2] >= 0 THEN

```



```

BEGIN
    ALFA:=1/SQRT(C1(2));
    B:=C1(1)*SQR(ALFA);
    L:=0.007/ALFA;          C1(3):=0;
END;
FOR I:=1 TO N DO
BEGIN
    F:=XII/(2*PI);
    Y2(I):=C1(1)/(1 + C1(2)*SQR(XII));
    IF YII <> 0 THEN
        EII:=100*(Y2(I)-YII)/YII
    ELSE
        EII:=100;          XII:=F;
    END;
    ER:=SQRT(ESE2(Y2,Y,N)/(N-2));
END;
CALCULA_ERRORES (ER,DL,C1(3),ALFA,B1);
WRITE ('ESCRIBIR EN PANTALLA O IMPRESORA (P/D) ? ');
repeat
    TECLA:= READKEY;
until upcase(tecla) in ['P','D'];          Writeln;
IF UPCASE(TECLA) = 'P' THEN
BEGIN
    CLRSCR;
    Writeln ('I      F[Hz]      Y      Ya jus      E%');
    Writeln ;
    FOR I:=1 TO N DO
        Writeln (I,'      ',XII:3:5,'      ',YII:3:5,'      ',Y2(I):3:5,'
    );
    tecla:=readkey;          clrscr;
    IF C1(3) >= 0 THEN
    BEGIN
        Writeln ('A1 = ',C1(1));          Writeln ('A2 = ',C1(2));
        Writeln ('A3 = ',C1(3));
        Writeln ('ALFA = ',ALFA:3:4);
        IF N2 = 3 THEN
            Writeln ('A = ',A:3:4);
        Writeln ('B = ',B:3:4);
    END;
END;

```

```

        WRITELN ('VIDA DE LOS NEUTRONES = ',L,' SEG');
        WRITELN ('CON UN ERROR DE ',DL,' SEG');
        WRITELN ('S^2 = ',ER);
    END
ELSE
    WRITELN (' NO SE PUEDE OBTENER ALFA ');
END
ELSE
BEGIN
    writeln (lst,'Archivo Ajustado: ',NOMBRE1);
    WRITELN (LST,'PROGRAMA DEL LIBRO');
    IF C1(3) >= 0 THEN
        BEGIN
            WRITELN (LST,'ALFA = ',ALFA:3:4);
            IF N2 = 3 THEN
                WRITELN (LST,'A = ',A:3:4);
                WRITELN (LST,'B = ',B:3:4);
                WRITELN (LST,'VIDA DE LOS NEUTRONES = ',L,' SEG');
                WRITELN (lst,'CON UN ERROR DE ',DL,' SEG');
            END
        END
    ELSE
        WRITELN (' NO SE PUEDE OBTENER ALFA ');
        WRITFLN (LST,'I      FIHzl      Y      Yajus      E%');
        WRITELN (LST);
        FOR I:=1 TO N DO
            WRITELN (LST,I,'      ',XII:3:5,'      ',VII:3:5,'      ',Y2(1):3
            WRITELN (LST);
        END;
        WRITELN;
        WRITE ('GUARDAR EN ARCHIVO(S/N)? ');
        REPEAT
            TECLA:=READKEY;
        UNTIL UPCASE(TECLA) IN ('S','N');
        IF UPCASE(TECLA) = 'S' THEN
            BEGIN
                WRITE ('NOMBRE DE ARCHIVO A CREAR ? ');
                READLN (NOMBRE);
                ASSIGN (ARCH,NOMBRE);
                REWRITE (ARCH);
            END
        END
    END

```

```

writeln (arch,' Archivo Ajustado: ',nombre');
writeln (arch,' Programa del Libro');
IF C1[3] >= 0 THEN
  BEGIN
    WRITELN (arch,'ALFA = ',ALFA:3:4);
    IF N2 = 3 THEN
      WRITELN (arch,'A = ',A:3:4);
      WRITELN (arch,'B = ',B:3:4);
      WRITELN (arch,'VIDA DE LOS NEUTRONES = ',L,' SEG');
      WRITELN (arch,'CON UN ERROR DE ',DL,' SEG');
    END
  ELSE
    WRITELN (arch,' NO SE PUEDE OBTENER ALFA ');
    WRITELN (arch,'I      FIHz1      Y      Yajus      E%');
    FOR I:=1 TO N DO
      WRITELN (ARCH,XII:3:2,'      ',YIII:3:5,'
    CLOSE (ARCH);
  END;
END;
END;

```

```

BEGIN
  ( CUERPO PRINCIPAL )
  FIN:=FALSE;      CLRSCR;
  WRITE ('ARCHIVO A LEER ? ');      READLN (NOMBRE);
  REPEAT
    LEEXY (X,Y,N2,N,NOMBRE);
    ARMA_M1 (N,N2,X,Y,U);
    CONVIERTE (A1,Z,U,Y,N,N2);
    GAUSS_JORDAN (A1,B,C1,Z,N,N2);
    SALIDA (X,Y,Y2,C1,N,N2,FIN,nombre,B);
    GRAFICA (X,Y,Y2,N);
    WRITE ('CONTINUAR (C), SALIR (S)? ');
  REPEAT
    TECLA:=READKEY;
  UNTIL UPCASE(TECLA) IN ['C','S'];      WRITELN;
  IF UPCASE(TECLA) = 'S' THEN
    FIN:=TRUE;
  UNTIL FIN
END.

```

```

(*****
Programa que ajusta la curva  $Y = A + B/(C + w^2)$  manejada como sigue
 $A1 = A + B/C$        $A2 = A/C$       y       $A3 = 1/C$ 
 $Y = A1 + A2 x^2 - A3 x^2 Y$ 
Implementado por: Juan Jose Ortiz S.
*****

```

```

PROGRAM suma1;
USES
  CRT,PRINTER,GRAFIAJU;
TYPE
  GOAC = STRING;
VAR
  Z,X,Y:XY;                    N:INTEGER;            FIN:BOOLEAN;    NOMBRE:GOAC;
  a,b,c:real;

```

```

FUNCTION ESE2 (Y2,Y:XY; N:INTEGER):REAL;
VAR
  ER:REAL;    I:INTEGER;
BEGIN
  ER:=0;
  FOR I:=1 TO N DO
    ER:=ER + SQR(Y2[I] - Y[I]);
  ESE2:=ER;
END;

```

```

PROCEDURE SACANOS (REGLON:GOAC;VAR NN:INTEGER);
VAR
  APT:INTEGER;
BEGIN
  APT:=1;    NN:=0;
  REPEAT
    REPEAT
      APT:=APT + 1
    UNTIL (REGLON[APT] = ' ') OR (APT >= LENGTH(REGLON));
    NN:=NN + 1;
  REPEAT
    APT:=APT + 1
  UNTIL (REGLON[APT] <> ' ') OR (APT >= LENGTH(REGLON));
  UNTIL (APT >= LENGTH(REGLON));

```

END;

```
PROCEDURE LEEXY (VAR X,Y,ZZ:XY; VAR N:INTEGER;NOMBRE:GOAC);
  TYPE
    OISJ = ARRAY[1..3] OF REAL;
  VAR
    ARCHIVO:TEXT;      NN,i,X1,X2:integer;      RENGLON,EXT:GOAC;
    Z:OISJ;
  BEGIN
    WRITE ('MINIMA FRECUENCIA A LEER ');
    READLN (X1);
    WRITE ('MAXIMA FRECUENCIA A LEER ');
    READLN (X2);
    ASSIGN (ARCHIVO,NOMBRE);
    RESET (ARCHIVO);
    N:=1;
    READLN (ARCHIVO,RENGLON);
    SACANOS (RENGLON,NN);
    RESET(ARCHIVO);
    FOR I:=1 TO X1 DO
      READLN (ARCHIVO);
    REPEAT
      FOR I:=1 TO NN DO
        READ (ARCHIVO,Z[I]);
        READLN (ARCHIVO);
        XINI:=2*PI*Z[1];
        IF NN = 3 THEN
          YINI:=SQRT(SQR(Z[2]) + SQR(Z[3]))
        ELSE
          YINI:=Z[2];
        EXT:=COPY (NOMBRE,LENGTH(NOMBRE)-2,LENGTH(NOMBRE) - 2);
        FOR I:=1 TO 3 DO
          EXT[I]:=UPCASE(EXT[I]);
        IF (EXT = 'CH2') or (EXT = 'CH2') or (EXT = 'CH1') THEN
          YINI:=YINI/2;
        N:=N + 1
      UNTIL (N >= X2-X1) OR EOF(ARCHIVO);
    CLOSE (ARCHIVO);      N:=N - 1;
```

```

FOR I:=1 TO N DO
  ZZII:=SQR(XII)*YII;
END;

FUNCTION F7 (Y,Z:XY;N:INTEGER):REAL;
VAR
  VALOR:REAL;    I:INTEGER;
BEGIN
  VALOR:=0;
  FOR I:=1 TO N DO
    VALOR:=VALOR + YII*ZII;
  F7:=VALOR
END;

FUNCTION F8 (Z:XY;N:INTEGER):REAL;
VAR
  V:REAL;    I:INTEGER;
BEGIN
  V:=0;
  FOR I:=1 TO N DO
    V:=V + ZII;
  F8:=V;
END;

FUNCTION F9 (X:XY;N:INTEGER):REAL;
VAR
  V:REAL;    I:INTEGER;
BEGIN
  V:=0;
  FOR I:=1 TO N DO
    V:=V + SQR(XII);
  F9:=V;
END;

FUNCTION F10 (X:XY;N:INTEGER):REAL;
VAR
  V:REAL;    I:INTEGER;
BEGIN

```

```

V:=0;
FOR I:=1 TO N DO
  V:=V + SQR(SQR(XII));
F10:=V;
END;

```

```

FUNCTION F11 (X,Z:XY;N:INTEGER):REAL;
VAR
  VALOR:REAL; I:INTEGER;
BEGIN
  VALOR:=0;
  FOR I:=1 TO N DO
    VALOR:=VALOR + SQR(XII)*ZIII;
  F11:=VALOR
END;

```

```

FUNCTION F1 (X:XY;N:INTEGER):REAL;
BEGIN
  F1:=N*F10(X,N) - SQR(F9(X,N));
END;

```

```

FUNCTION F2 (X,Z:XY;N:INTEGER):REAL;
BEGIN
  F2:=N*F11(X,Z,N) - F8(Z,N)*F9(X,N);
END;

```

```

FUNCTION F3 (X,Y,Z:XY;N:INTEGER):REAL;
BEGIN
  F3:=N*F8(Z,N) - F8(Y,N)*F9(X,N)
END;

```

```

FUNCTION F4 (Z:XY;N:INTEGER):REAL;
BEGIN
  F4:=N*F9(Z,N) - SQR(F8(Z,N));
END;

```

```

FUNCTION F5 (X,Z:XY;N:INTEGER):REAL;
BEGIN

```

```

    F5:=F8(Z,N)*F9(X,N) - N*F11(X,Z,N);
END;

FUNCTION F6 (Y,Z:XY;N:INTEGER):REAL;
BEGIN
    F6:=F8(Y,N)*F8(Z,N) - N*F7(Y,Z,N)
END;

FUNCTION FA3 (X,Y,Z:XY;N:INTEGER):REAL;
VAR
    FA:REAL;
BEGIN
    FA:=F1(X,N)*F6(Y,Z,N) + N*F3(X,Y,Z,N) + F11(X,Z,N);
    FA3:=FA/(F1(X,N)*F4(Z,N) + F2(X,Z,N)*F5(X,Z,N));
END;

FUNCTION FA2 (X,Y,Z:XY;N:INTEGER;A3:REAL):REAL;
BEGIN
    FA2:=(A3*F2(X,Z,N) + F3(X,Y,Z,N))/F1(X,N);
END;

FUNCTION FA1 (X,Y,Z:XY;N:INTEGER;A2,A3:REAL):REAL;
BEGIN
    FA1:=(F8(Y,N) - A2*F9(X,N) + A3*F8(Z,N))/N;
END;

PROCEDURE ITERA1 (VAR X,Y,Z:XY;N:INTEGER;VAR A,B,C:REAL);
VAR
    A1,A2,A3:REAL; I:INTEGER;
BEGIN
    A3:=FA3(X,Y,Z,N);
    A2:=FA2(X,Y,Z,N,A3);
    A1:=FA1(X,Y,Z,N,A2,A3);
    C:=1/A3;
    A:=C*A2;
    B:=(A1 - A)*C;
    FOR I:=1 TO N DO
        Z[I]:=A + B/(C + SQR(X[I]));
    
```


IF C >= 0 THEN

BEGIN

WRITELN (LST,'ALFA = ',ALFA:3:4);

WRITELN (LST,'A = ',A:3:4);

WRITELN (LST,'B = ',B:3:4);

WRITELN (LST,'VIDA DE LOS NEUTRONES = ',L,' SEG');

WRITELN (LST);

WRITELN (LST,' S^2 ',ER/N);

WRITELN (LST);

END

ELSE

WRITELN (LST,' NO SE PUEDE OBTENER ALFA ');

WRITELN (LST,' F(Hz) Y Ya jus EX');

WRITELN (LST);

FOR I:=1 TO N DO

WRITELN (LST,XII:3:5,' ,YII:3:5,' ,Y2II:3:5,' ,EU

WRITELN (LST); CLRSCR;

END;

PROCEDURE DISCO (X,Y,Z:XY;ALFA,A,B,L:REAL;N:INTEGER;NOMBRE:GOAC);

VAR

I:INTEGER; ARCH:TEXT; NOMBRE:GOAC;

BEGIN

WRITELN;

WRITE ('NOMBRE DE ARCHIVO A CREAR ? ');

READLN (NOMBRE);

ASSIGN (ARCH,NOMBRE);

REWRITE (ARCH);

WRITELN (arch,'NOMBRE DEL ARCHIVO: ',NOMBRE1);

WRITELN (arch,'AJUSTADO MEDIANTE LA CURVA: ');

WRITELN (arch,' Y = E + FX^2 + GX^2Y');

IF C >= 0 THEN

BEGIN

WRITELN (ARCH,'ALFA = ',ALFA:3:4);

WRITELN (ARCH,'A = ',A:3:4);

WRITELN (ARCH,'B = ',B:3:4);

WRITELN (ARCH,'VIDA DE LOS NEUTRONES = ',L,' SEG');

END;

```

WRITELN (ARCH,'          FIHz]          Y          Yaj
FOR I:=1 TO N DO
  WRITELN (ARCH,'          ',XII:3:2,'          ',YII:3:5,'
CLOSE (ARCH);
END;

```

```

PROCEDURE SALIDA (VAR X,Y,Y2:XY;A,B,C:REAL;N:INTEGER;VAR FIN:BOOLEAN;
  NOMBRE1:GOAC);
VAR
  I:INTEGER;      ER,F,alfa,l:REAL;
  TECLA:CHAR;     E:XY;
BEGIN
  IF C >= 0 THEN
    BEGIN
      ALFA:=SQRT(C);
      L:=0.007/SQRT(C);
    END;
    ER:=0;
    FOR I:=1 TO N DO
      BEGIN
        F:=XII/(2*PI);
        IF YII <> 0 THEN
          EII:=100*(Y2II-YII)/YII
        ELSE
          EII:=0;
        XII:=F;
      END;
    WRITE ('ESCRIBIR EN PANTALLA O IMPRESORA (P/I) ? ');
    repeat
      TECLA:= READKEY;
    until upcase(TECLA) in ['P','I'];
    ER:=ESE2(Y2,Y,N);
    IF UPCASE(TECLA) = 'P' THEN
      PANTALLA (X,Y,Y2,E,ALFA,A,B,L,ER,N)
    ELSE
      IMPRESORA (X,Y,Y2,E,ALFA,A,B,L,ER,N,NOMBRE1);
    WRITE ('GUARDAR EN ARCHIVO<S/N>? ');
  REPEAT

```

```

    TECLA:=READKEY;
    UNTIL UPCASE(TECLA) IN ['S','N'];
    IF UPCASE(TECLA) = 'S' THEN
        DISCO      (X,Y,YZ,ALFA,A,B,L,N,NOMBRE1);
    END;

BEGIN                                ( CUERPO PRINCIPAL )
    FIN:=FALSE;      CLRSCR;
    WRITE ('ARCHIVO A LEER ? ');
    READLN (NOMBRE);
    REPEAT
        LEEXY      (X,Y,Z,N,NOMBRE);
        ITERA1     (X,Y,Z,N,A,B,C);
        SALIDA     (X,Y,Z,A,B,C,N,FIN,NOMBRE);
        GRAFICA    (X,Y,Z,N);
        WRITE ('CONTINUAR (C), SALIR (S)? ');
        REPEAT
            TECLA:=READKEY;
            UNTIL UPCASE(TECLA) IN ['C','S'];
            WRITELN;
            IF UPCASE(TECLA) = 'S' THEN
                FIN:=TRUE;
        UNTIL FIN
END.

```

```

(*****
Programa que ajusta la curva  $Y = A + B/(C + w^2)$  manejada como sigue
      E = C/B          y          F = 1/C
      Z = 1/(Y - A)
      Z = E + F * x^2

La constante A es encontrada en forma iterativa
Implementado por: Juan Jose Ortiz S.
*****

```

```

PROGRAM suma2;
USES
  CRT,PRINTER,GRAFIAJU;
CONST
  TOL = 1E-6;
TYPE
  GOAG = STRING;
VAR
  ZZ,Y2,X,Y:XY;          N:INTEGER;      FIN:BOOLEAN;  NOMBRE:GOAG;
  A,B,C:REAL;

```

```

FUNCTION ESE2 (Y2,Y:XY; N:INTEGER):REAL;
VAR
  ER:REAL;  I:INTEGER;
BEGIN
  ER:=0;
  FOR I:=1 TO N DO
    ER:=ER + SQR(Y2[I] - Y[I]);
  ESE2:=ER;
END;

```

```

PROCEDURE SACANOS (RENGLON:GOAG;VAR NN:INTEGER);
VAR APT:INTEGER;
BEGIN
  APT:=1;  NN:=0;
  REPEAT
    REPEAT
      APT:=APT + 1

```

```

UNTIL (REGLONIAPT) = ' ') OR (APT) = LENGTH(REGLON));
NN:=NN + 1;
REPEAT
    APT:=APT + 1
UNTIL (REGLONIAPT) <> ' ') OR (APT) = LENGTH(REGLON));;
UNTIL (APT) = LENGTH(REGLON));
END;

```

```

PROCEDURE LEEXY (VAR X,Y,ZZ:XY; VAR N:INTEGER;NOMBRE:GOAC);

```

```

TYPE

```

```

    OISJ = ARRAY[1..3] OF REAL;

```

```

VAR

```

```

    ARCHIVO:TEXT;    NN,i,X1,X2:integer;    TECLA:CHAR;

```

```

    REGLON,EXT:GOAC;    Z:OISJ;

```

```

BEGIN

```

```

    WRITE ('MINIMA FRECUENCIA A LEER ');

```

```

    READLN (X1);

```

```

    WRITE ('MAXIMA FRECUENCIA A LEER ');

```

```

    READLN (X2);

```

```

    ASSIGN (ARCHIVO,NOMBRE);

```

```

    RESET (ARCHIVO);

```

```

    N:=1;

```

```

    READLN (ARCHIVO,REGLON);

```

```

    SAGANOS (REGLON,NN);

```

```

    RESET(ARCHIVO);

```

```

    FOR I:=1 TO X1 DO

```

```

        READLN (ARCHIVO);

```

```

    REPEAT

```

```

        FOR I:=1 TO NN DO

```

```

            READ (ARCHIVO,ZI1);

```

```

            READLN (ARCHIVO);

```

```

            XIN:=2*PI*ZI1;

```

```

            IF NN = 3 THEN

```

```

                YIN:=SQRT(SQR(ZI2) + SQR(ZI3))

```

```

            ELSE

```

```

                YIN:=ZI2;

```

```

            EXT:=COPY (NOMBRE,LENGTH(NOMBRE)-2,LENGTH(NOMBRE) - 2);

```

```

            FOR I:=1 TO 3 DO

```

```

EXTI1:=UPCASE(EXTI1);
IF (EXT = 'C12') or (EXT = 'CH2') or (EXT = 'CH1') THEN
  YIN1:=YIN1/2;
  N:=N + 1
UNTIL (N >= X2-X1) OR EOF(ARCHIVO);
CLOSE (ARCHIVO);   N:=N - 1;
FOR I:=1 TO N DO
  ZZI1:=YI1;
END;

```

```

FUNCTION F2 (X:XY;N:INTEGER):REAL;
VAR
  SUM:REAL;
  I:INTEGER;
BEGIN
  SUM:=0;
  FOR I:=1 TO N DO
    SUM:=SUM + SQR(XII);
  F2:=SUM;
END;

```

```

FUNCTION F3 (X,Y:XY;N:INTEGER):REAL;
VAR
  SUM:REAL;
  I:INTEGER;
BEGIN
  SUM:=0;
  FOR I:=1 TO N DO
    SUM:=SUM + YII*SQR(XII);
  F3:=SUM;
END;

```

```

FUNCTION F4 (X:XY;N:INTEGER):REAL;
VAR
  SUM:REAL;
  I:INTEGER;
BEGIN
  SUM:=0;

```

```

FOR I:=1 TO N DO
  SUM:=SUM + SQR(SQR(XII));
F4:=SUM;
END;

```

```

FUNCTION F1 (Y:XY;N:INTEGER):REAL;
VAR
  SUM:REAL;
  I:INTEGER;
BEGIN
  SUM:=0;
  FOR I:=1 TO N DO
    SUM:=SUM + YII;
  F1:=SUM;
END;

```

```

FUNCTION FF (X,Y:XY;G:REAL;N:INTEGER):REAL;
BEGIN
  FF:=(F1(Y,N) - G*F2(X,N))/N;
END;

```

```

FUNCTION FG (X,Y:XY;N:INTEGER):REAL;
BEGIN
  FG:=(N*F3(X,Y,N)-F1(Y,N)*F2(X,N))/(N*F4(X,N)-SQR(F2(X,N)));
END;

```

```

PROCEDURE ITERA1 (VAR X,Y:XY;N:INTEGER;VAR A,B,C:REAL);
VAR
  G,F:REAL;          I,J:INTEGER;  AA,ZZZ:XY;  FIN:BOOLEAN;
BEGIN
  J:=2;  AA[I]:=0;  FIN:=FALSE;
  REPEAT
    AA[J]:=Y[N] - (Y[I] - Y[N])/10;
    FOR I:=1 TO N DO
      ZZZ[I]:=1/(Y[I] - AA[J]);
    G:=FG(X,ZZZ,N);
    F:=FF(X,ZZZ,G,N);
    B:=1/G;
  
```



```

G:=F*B;
FOR I:=1 TO N DO
  YIII:=AAIJI + B/(C +SQRCXII));
  IF ABS(AAIJI - AAIJ-1) <= TOL THEN
    FIN:=TRUE
  ELSE
    J:=J + 1
  UNTIL FIN;
  A:=AAIJI
END;

```

```

PROCEDURE PANTALLA (X,Y,Y2,E:XY;ALFA,A,B,L,ER:REAL;N:INTEGER);
VAR
  I:INTEGER;          TECLA:CHAR;
BEGIN
  CLRSCR;
  WRITELN ('          F[Hz]          Y          Ya Jus          E%');
  WRITELN ;
  FOR I:=1 TO N DO
    WRITELN (CXII:3:5,'          ',YIII:3:5,'          ',Y2II:3:5,'          ',EII:3:2);
    tecla:=readkey;
    clrscr;
    IF C >= 0 THEN
      BEGIN
        WRITELN ('ALFA = ',ALFA:3:4);
        WRITELN ('A = ',A:3:4);
        WRITELN ('B = ',B:3:4);
        WRITELN ('VIDA DE LOS NEUTRONES = ',L,' SEG');
        WRITELN;
        WRITELN ('S^2 ',ER/N);
      END
    ELSE
      WRITELN (' NO SE PUEDE OBTENER ALFA ');
    tecla:=readkey;
    CLRSCR;
  END;

```

```
PROCEDURE IMPRESORA (X,Y,Y2,E:XY;ALFA,A,B,L,ER:REAL;N:INTEGER;
                    NOMBRE1:GOAC);
```

```
VAR
```

```
  I:INTEGER;
```

```
BEGIN
```

```
  WRITELN (LST,'NOMBRE DEL ARCHIVO: ',NOMBRE1);
```

```
  WRITELN (LST);
```

```
  WRITELN (LST,'      F[Hz]      Y      Yajus      E%');
```

```
  WRITELN (LST);
```

```
  FOR I:=1 TO N DO
```

```
    WRITELN (LST,XII:3:5,'      ',VII:3:5,'      ',Y2III:3:5,'      ',EII:3:2);
```

```
  WRITELN (LST);
```

```
  IF C >= 0 THEN
```

```
    BEGIN
```

```
      WRITELN (LST,'ALFA = ',ALFA:3:4);
```

```
      WRITELN (LST,'A = ',A:3:4);
```

```
      WRITELN (LST,'B = ',B:3:4);
```

```
      WRITELN (LST,'VIDA DE LOS NEUTRONES = ',L,' SEG');
```

```
      WRITELN (LST);
```

```
      WRITELN (LST,' S2 ',ER/N);
```

```
    END
```

```
  ELSE
```

```
    WRITELN (LST,' NO SE PUEDE OBTENER ALFA ');
```

```
  CLRSCR;
```

```
END;
```

```
PROCEDURE DISCO (X,Y,Y2:XY;ALFA,A,B,L:REAL;N:INTEGER;NOMBRE1:GOAC);
```

```
VAR
```

```
  I:INTEGER;      ARCH:TEXT;      NOMBRE:GOAC;
```

```
BEGIN
```

```
  WRITELN;
```

```
  WRITE ('NOMBRE DE ARCHIVO A CREAR ? ');
```

```
  READLN (NOMBRE);
```

```
  ASSIGN (ARCH,NOMBRE);      REWRITE (ARCH);
```

```
  WRITELN (arch,'NOMBRE DEL ARCHIVO: ',NOMBRE1);
```

```
  IF C >= 0 THEN
```

```
    BEGIN
```

```
      WRITELN (ARCH,'ALFA = ',ALFA:3:4);
```

```

        WRITELN (ARCH,'A = ',A:3:4);
        WRITELN (ARCH,'B = ',B:3:4);
        WRITELN (ARCH,'VIDA DE LOS NEUTRONES = ',L,' SEG');
    END;
    WRITELN (ARCH,'          F(Hz)          Y          Ya(jus)');
    FOR I:=1 TO N DO
        WRITELN(ARCH,'          ',XII:3:2,'          ',YIII:3:5,'          'Y2III:3:5);
    CLOSE (ARCH);
END;

```

```

PROCEDURE SALIDA (VAR X,Y,Y2:XY;A,B,C:REAL;N:INTEGER;
                 VAR    FIN:BOOLEAN;NOMBRE1:GOAC);
VAR
    I:INTEGER;    ER,F,alfa,l:REAL;
    TECLA:CHAR;    E:XY;
BEGIN
    IF C >= 0 THEN
        BEGIN
            ALFA:=SQRT(C);
            L:=0.007/SQRT(C);
        END;
    ER:=0;
    FOR I:=1 TO N DO
        BEGIN
            F:=XII/(2*PI);
            IF YIII <> 0 THEN
                EII:=100*(Y2II-YII)/YII
            ELSE
                EII:=0;
            XII:=F;
        END;
    WRITE ('ESCRIBIR EN PANTALLA O IMPRESORA (P/I) ? ');
    repeat
        TECLA:= READKEY;
    until  upcase(TECLA) in ['P','I'];
    ER:=ESE2(Y2,Y,N);
    IF UPCASE(TECLA) = 'P' THEN
        PANTALLA (X,Y,Y2,E,ALFA,A,B,L,ER,N)

```

```

ELSE
    IMPRESORA      (X,Y,Y2,E,ALFA,A,B,L,ER,N,NOMBRE1);
WRITE ('GUARDAR EN ARCHIVO(S/N)? ');
REPEAT
    TECLA:=READKEY;
UNTIL UPCASE(TECLA) IN ['S','N'];
IF UPCASE(TECLA) = 'S' THEN
    DISCO      (X,Y,Y2,ALFA,A,B,L,N,NOMBRE1);
END;

BEGIN
    ( CUERPO PRINCIPAL )
    FIN:=FALSE;      CLRSCR;
WRITE ('ARCHIVO A LEER ? ');
READLN (NOMBRE);
REPEAT
    LEEXY      (X,Y,Y2,N,NOMBRE);
    ITERA1     (X,Y2,N,A,B,C);
    SALIDA     (X,Y,Y2,A,B,C,N,FIN,NOMBRE);
    GRAFICA    (X,Y,Y2,N);
WRITE ('CONTINUAR (C), SALIR (S)? ');
REPEAT
    TECLA:=READKEY;
UNTIL UPCASE(TECLA) IN ['C','S'];
WRITELN;
IF UPCASE(TECLA) = 'S' THEN
    FIN:=TRUE;
UNTIL FIN
END.

```

```

*****
Programa implementado para suavizar curvas. Metodo tomado del libro
" Elementos de Probabilidad y Estadistica " de O. Hernandez Lerma.
Implementado por: Juan Jose Ortiz S.
*****

```

```
PROGRAM Suavizamiento;
```

```
USES
```

```
  CRT;
```

```
TYPE
```

```
  GOAC = STRING;          XY = ARRAY [1..1030] OF REAL;
```

```
VAR
```

```
  X1,Y2,X,Y:XY;  N:INTEGER;  FIN:BOOLEAN;  NOMBRE:GOAC;  TECLA:CHAR;
```

```
PROCEDURE SACANOS (REGLON:GOAC;VAR NN:INTEGER);
```

```
  VAR APT:INTEGER;
```

```
  BEGIN
```

```
    APT:=1;  NN:=0;
```

```
    REPEAT
```

```
      REPEAT
```

```
        APT:=APT + 1
```

```
      UNTIL (REGLON[APT] = ' ') OR (APT >= LENGTH(REGLON));
```

```
      NN:=NN + 1;
```

```
      REPEAT
```

```
        APT:=APT + 1
```

```
      UNTIL (REGLON[APT] <> ' ') OR (APT >= LENGTH(REGLON));;
```

```
    UNTIL (APT >= LENGTH(REGLON));
```

```
  END;
```

```
PROCEDURE LEEXY (VAR X,Y:XY; VAR N:INTEGER;NOMBRE:GOAC);
```

```
  TYPE
```

```
    OISJ = ARRAY[1..3] OF REAL;
```

```
  VAR
```

```
    ARCHIVO:TEXT;  NN,i:integer;  REGLON,EXT:GOAC;
```

```
    Z:OISJ;
```

```
  BEGIN
```

```
    ASSIGN (ARCHIVO,NOMBRE);
```

```
    RESET (ARCHIVO);
```

```

N:=1;
READLN (ARCHIVO,REGLON);
SACANOS (REGLON,NN);
RESET(ARCHIVO);
REPEAT
  FOR I:=1 TO NN DO
    READ (ARCHIVO,ZI1);
    READLN (ARCHIVO);
    IF ZI1 <> -1 THEN
      BEGIN
        X1:=ZI1;
        IF NN = 3 THEN
          Y1:=SQRT(SQRT(ZI2) + SQRT(ZI3))/2
        ELSE
          Y1:=ZI2/2;
        EXT:=COPY (NOMBRE,LENGTH(NOMBRE)-2,LENGTH(NOMBRE) - 2);
        FOR I:=1 TO 3 DO
          EXTII:=UPCASE(EXTII);
          IF (EXT = 'COH') THEN
            Y1:=2*Y1;
          N:=N + 1
        END;
      UNTIL EOF(ARCHIVO);
      CLOSE (ARCHIVO); N:=N - 1;
    END;
END;

```

```

PROCEDURE DISCO (X,Y2:XY;N:INTEGER);
VAR
  I:INTEGER; ARCH:TEXT; NOMBRE:GOAC;
BEGIN
  WRITE ('NOMBRE DE ARCHIVO A CREAR ? ');
  READLN (NOMBRE);
  ASSIGN (ARCH,NOMBRE);
  REWRITE (ARCH);
  FOR I:=1 TO N DO
    WRITELN (ARCH,XII:3:2,' ',Y2II);
  CLOSE (ARCH);
END;

```

```

PROCEDURE SUAVIZA (X,Y:XY; VAR X1,Z:XY;VAR N:INTEGER);
VAR
  I,J,ORDEN:INTEGER;
BEGIN
  WRITE ('ORDEN DE SUAVIZAMIENTO? ');
  READLN (ORDEN);
  FOR I:=1 TO N - ORDEN + 1 DO
    BEGIN
      Z[I]:=0;      X1[I]:=0;
      FOR J:=0 TO ORDEN-1 DO
        BEGIN
          Z[I+J]:=Z[I] + Y[J+I];
          X1[I+J]:=X1[I] + X1[J+I];
        END;
      X1[I]:=X1[I]/ORDEN;
      Z[I]:=Z[I]/ORDEN;
    END;
  N:=N + 1 - ORDEN;
END;

BEGIN
  ( CUERPO PRINCIPAL )
  FIN:=FALSE;      CLRSCR;
  REPEAT
    WRITE ('ARCHIVO A LEER ? ');
    READLN (NOMBRE);
    LEEXY (X,Y,N,NOMBRE);
    suaviza (X,Y,X1,Y2,N);
    DISCO (X1,Y2,N);
    WRITE ('CONTINUAR (C), SALIR (S)? ');
    REPEAT
      TECLA:=READKEY;
    UNTIL UPCASE(TECLA) IN ['C','S'];
    WRITELN;
    IF UPCASE(TECLA) = 'S' THEN
      FIN:=TRUE;
    UNTIL FIN
END.

```

APENDICE B

TABLAS DE MEDICIONES AJUSTADAS

Mediciones a 1 W de Potencia

Mediciones a 5 W de Potencia

Mediciones a 10 W de Potencia

TABLAS DE MEDICIONES AJUSTADAS

A continuación se muestra una lista de los mejores espectros ajustados. La columna Archivo denota el nombre de una medición y sus características, su extensión indica si se trata del canal 1 (CH1) o el canal 2 (CH2). La columna I representa la vida neutrónica en μs . La columna Filtro indica si se usó filtrado analógico y con que características. Finalmente, la columna Suavizado, indica que mediciones fueron suavizadas y con que orden de suavizamiento.

MEDICIONES REALIZADAS A 1 W DE POTENCIA

Archivo	I	Filtro	Suavizado
31w1khan.ch1	22.69	Pasa bajas en 1Khz.	k = 3
41w1kha.ch2	21.36	Pasa Bajas en 1Khz.	k = 5
51w1khan.ch1	22.25	Pasa Bajas en 1Khz.	k = 4
11w700h.ch1	21.62	Pasa Bajas en 700 Hz.	k = 3
11w700h1.ch2	21.96	Pasa Bajas en 700 Hz.	k = 4
151w.ch2	22.38	No	No
201w.ch2	23.50	No	No

Vida Neutrónica Promedio = $22.25 \pm 0.66 \mu\text{s}$

[21.59,22.91]

MEDICIONES REALIZADAS A 5 W DE POTENCIA

Archivo	l	Filtro	Suavizado
75w2 .ch1	21.68	No	No
75w6kz .ch2	21.35	No	No
75w6kz2.ch1	22.17	No	No
85w .ch1	23.80	No	No
85w .ch2	24.23	No	No
85w2 .ch1	23.81	No	No
85w2 .ch2	20.38	No	No
105w .ch1	22.85	No	No
125w .ch2	22.75	No	No
125w2p .ch2	21.74	No	No
5w900h1.ch2*	23.63	Pasa Bajas en 900 Hz.	No
5w900h .ch1*	22.99	Pasa Bajas en 900 Hz.	No
5w900h2.ch1*	22.10	Pasa Bajas en 900 Hz.	N.

Vida Neutrónica Promedio Analizador = $22.48 \pm 1.17 \mu s$

[21.35,23.65]

Vida Neutrónica Promedio Computadora = $22.90 \pm 0.62 \mu s$

[22.28,23.52]

* Mediciones de la Computadora.

MEDICIONES REALIZADAS A 10 W DE POTENCIA

Archivo	I	Filtro	Suavizado
910w41 .ch1	22.87	No	No
11xwp .ch1	21.95	No	No
11xw2p .ch1	22.52	No	No
11xw3 .ch1	23.86	No	No
1210w1 .ch2	23.83	No	No
1210w2p.ch2	22.90	No	No
1310w .ch2	22.94	No	No
1310w1 .ch2	22.82	No	No
1310w2 .ch2	22.57	No	No
10w900h1.ch1*	23.18	Pasa Bajas en 900 Hz.	No
10w900h.ch1*	23.81	Pasa Bajas en 900 Hz.	No
16xw9ch.ch2*	23.13	Pasa Bajas en 900 Hz.	No

Vida Neutrónica Promedio Analizador = $22.93 \pm 0.54 \mu s$

[22.39,23.47]

Vida Neutrónica Promedio Computadora = $23.54 \pm 0.26 \mu s$

[23.28 23.8]

* Mediciones de la Computadora

APENDICE C

CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS

Tarjeta ADC de DATA TRANSLATION de la serie DT2821, modelo DT2824-PGH. 50 KHz. de frecuencia máxima de muestreo, ganancia máxima de 8 y 8 canales de entrada en modo diferencial.

Cóputadora AT286 TeleVideo de 12 MHz. de velocidad, 640 Kb memoria RAM y 384 Kb de memoria extendida.

Analizador de Fourier de Hewlett Packard modelo HP 35665A (Dynamic Signal Analyzer). Dos canales de entrada.

Amplificadores y Preamplificadores diseñados por el M. en Bioelectrónica Antonio S. Rojas S. Alimentación de ± 15 V, alimentación al detector de hasta 1000V, ancho de banda 0.5 Hz - 10 KHz. Ganancia del preamplificador de 100 y de 10 para el amplificador.

Cámaras de Fisión de Reuter Stokes modelo RS-P6-1608-110 a base de U-235 enriquecido al 93%. Gas de llenado: argón. Voltaje de operación: 600 V. Sensibilidad de 0.7 cps/nV.

Filtros Analógicos Rockland Systems Corporation modelo 442 Dual Hi/Lo Filter. Cuenta con dos canales de entrada y opera en modos pasa-bajas, pasa-altas, pasa-bandas y para-bandas. Opera entre 10 y 1.1 MHz. La atenuación que alcanza es de 24 Db/oct.