

2ej.
31



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

**AUTOMATIZACION DE UN SISTEMA
ANALIZADOR MULTICANAL**

T E S I S

Que para obtener el título de:

F I S I C O

P r e s e n t a :

ENRIQUE LOPEZ YAÑEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

INTRODUCCION	1
CAPITULO I FISICA DE RADIACIONES	2
Radiación nuclear. Interacción de la radiación gamma con la materia. Detectores de radiación. Sistemas de análisis. Análisis estadístico de un espectro de radiaciones.	
CAPITULO II INTERCONEXION DE LOS ELEMENTOS FISICOS DEL SISTEMA SISAM	12
Arquitectura de una microcomputadora. Multicanal NS-700. Acoplamiento entre el multicanal y la computadora.	
CAPITULO III DESCRIPCION DE LOS PROGRAMAS DEL SISTEMA ANALIZADOR SISAM	28
Transferencia y almacenamiento de datos del multicanal a la computadora. Análisis de un espectro: Búsqueda de picos, estimación de la existencia de un pico doble, ajuste de datos experimentales a una curva teórica. Funciones de utilidad.	
CAPITULO IV GUIA DEL USO DEL SISTEMA ANALIZADOR SISAM	43
Instructivo para el uso del sistema SISAM. Ejemplo práctico.	
CAPITULO V RESULTADOS Y CONCLUSIONES	57
Resultados obtenidos del sistema SISAM. Sistemas analizadores computarizados comerciales. Ventajas del sistema SISAM.	
BIBLIOGRAFIA	61
APENDICES	64
A:Tuart. B:Desarrollo algebraico de la función de búsqueda de picos. C:Desarrollo algebraico de las fórmulas para el ajuste de picos por métrica variable. D:Ajuste de datos a una línea recta. E:Ajuste de datos a una parábola. F:Código de caracteres ASCII.	

I N T R O D U C C I O N

En esta tesis se propone un sistema de análisis de señales analógicas, automatizado por medio de una microcomputadora, cuya aplicación a la espectrometría de radiación nuclear tiene el mismo alcance funcional que el de cualquier otro equipo que se venda en la actualidad. A este sistema se le dio el nombre de Sistema Analizador SISAM.

Dos problemas fundamentales que tuvieron que desarrollarse durante la elaboración del sistema SISAM son:

a) La interconexión de los dispositivos físicos que lo forman, que son, un multicanal NS-700 y una microcomputadora Cromemco System One con dos manejadores de disco (Drives), y,

b) La creación de un paquete de programas que lleva a cabo su control.

Así, a lo largo de este trabajo, se presentará al lector la forma en que se pudo obtener la implementación completa del sistema SISAM.

Para ello, en el primer capítulo se estudian algunas nociones sobre física de radiaciones y se discuten métodos generales utilizados para el análisis espectrométrico de emisiones nucleares.

En el segundo se describe cada una de las componentes físicas del sistema y la manera en que se interconectaron.

En el tercer capítulo se desarrollan los programas más importantes de todo el paquete diseñado.

Una guía para el uso de SISAM se ofrece en el capítulo cuarto.

En el capítulo quinto se discuten las ventajas que se han obtenido en la elaboración de este trabajo en comparación con otros sistemas.

Por último se proporciona una serie de apéndices que tratan acerca de los siguientes aspectos: breve información de la interfaz utilizada para la microcomputadora, el desarrollo analítico de los métodos numéricos aplicados en el paquete de programas, y una tabla con el código ASCII.

Se espera que este trabajo sirva de ayuda técnica y didáctica para el lector interesado en el diseño de sistemas de análisis más completos y avanzados.

C A P I T U L O I

FISICA DE RADIACIONES

Una herramienta importante utilizada para la investigación de la estructura del núcleo atómico ha sido el estudio de la radiación nuclear, que comprende todas las emisiones que ocurren como productos de reacciones nucleares o colisiones entre partículas.

El análisis de las emisiones nucleares se lleva a cabo por métodos espectrométricos, cuyo fin es obtener la energía e intensidad de cada una de estas radiaciones. Esto implica el desarrollo de métodos estadísticos muy elaborados, que requieren de bastante tiempo para resolverse y generan la posibilidad de cometer una cantidad considerable de errores.

Así, se han diseñado sistemas que permiten simplificar este trabajo, aprovechando los avances que se han venido dando en el campo de la electrónica y la computación.

A lo largo de este capítulo se muestra un panorama sobre algunos aspectos de la física de radiaciones y los métodos que se utilizan para la detección y análisis de la radiación nuclear.

RADIACION NUCLEAR

De todos los núcleos atómicos que se conocen, muchos de ellos mantienen un estado de configuración inestable, implicando la posibilidad de que ocurra un decaimiento del núcleo a un estado diferente de energía o se convierta en otro elemento.

Los tipos de desintegración nuclear que más destacan son:

- a) El decaimiento alfa, en el que el núcleo original emite núcleos de helio.
- b) El decaimiento beta, en el cual, un neutrón se convierte en protón en el interior de un núcleo generándose un electrón.
- c) La radiación gamma, que es producida durante la transición entre estados de energía diferentes del núcleo. La energía de cada fotón es

$$E=h\nu \qquad 1.1$$

en donde h es la constante de Planck y ν la frecuencia del fotón.

En este trabajo se propone un sistema analizador automatizado (SISAM) para ser aplicado, en particular, a espectros de radiación gamma de alta resolución, por lo que a continuación se discuten las normas que se utilizan para el procesamiento de la información generada por este tipo de emisión que comprende desde su detección hasta su análisis estadístico.

Cabe hacer notar que el uso del sistema SISAM puede extenderse para el análisis de información de cualquier otra clase que se presente en forma de pulsos eléctricos analógicos.

INTERACCION DE LA RADIACION GAMMA CON LA MATERIA

Quando la radiación nuclear incide sobre un material, ocurren fenómenos característicos que pueden ser utilizados como base para la detección de estas emisiones.

En particular, en la radiación gamma se encuentran tres formas importantes de interacción con la materia:

a) Efecto fotoeléctrico:

En el efecto fotoeléctrico un fotón es absorbido al sufrir una colisión con un átomo, desde el cual, se emite un electrón (fig. 1.1).

Para que un electrón de masa m pueda ser liberado de un átomo, el fotón incidente debe tener cierta energía mínima W (función de trabajo), de modo que

$$h\nu = W + E \quad 1.2$$

en donde $h\nu$ (ver ec. 1.1) es la energía del fotón incidente, W es la función de trabajo de la superficie en la que el haz de fotones incide, y, E es la energía del electrón emitido.

b) Dispersión Compton

En este caso un fotón es dispersado al incidir cerca de un electrón (fig. 1.2). Puede demostrarse que

$$h\nu' = h\nu / (1 + h\nu(1 - \cos\theta) / mc^2) \quad 1.3$$

en donde $h\nu$ y $h\nu'$ son las energías del fotón incidente y del dispersado respectivamente, θ es el ángulo de dispersión y mc^2 es la energía que obtuvo el electrón después de la colisión.

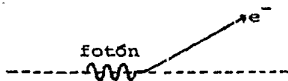
c) Creación de pares

En la creación de pares un fotón se transforma en un par positrón-electrón. Un resultado de considerar los principios de conservación de energía y momento en este fenómeno, es que no puede ocurrir si no se tiene un núcleo o electrón cerca del fotón incidente (fig. 1.3).

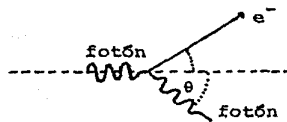
El efecto fotoeléctrico, la creación de pares y la dispersión Compton, son los principales responsables de la absorción de la radiación gamma con la materia.

A bajas energías contribuyen de manera importante la dispersión Compton y el efecto fotoeléctrico, cuya influencia disminuye a medida que la energía del fotón incidente aumenta, convirtiéndose la producción de pares, en el mecanismo predominante durante la absorción.

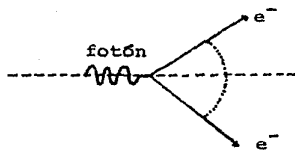
El conocimiento de la manera en que interactúa la radiación con la materia ha permitido construir toda una teoría para el desarrollo de métodos de detección de emisiones nucleares, lo cual, será tema de la siguiente sección.



Efecto fotoeléctrico
FIG. 1.1



Dispersión Compton
FIG. 1.2



Creación de pares
FIG. 1.3

DETECTORES DE RADIACION

Algunos ejemplos de detectores de radiación que pueden mencionarse son:

- Cámara de burbujas.
- Cámara de niebla.
- Cámara de chispa.
- Detectores químicos.
- Placa fotográfica.
- Detectores calorimétricos.
- Emisión exoelectrónica.
- Detectores por trazas en sólidos.
- Detectores por ionización en gas.
- Detectores de centelleo.
- Semiconductores.
- Detectores termoluminiscentes.

De estos, los detectores por ionización de gas, centelleo, semiconductores y termoluminiscentes, por medio de mecanismos propios, generan pulsos eléctricos analógicos que permiten ser procesados con los mismos métodos de análisis.

Una descripción de la forma en que cada uno de estos detectores trabaja para generar la información que interesa se dará a continuación.

a) Detectores por ionización de gas

Este grupo comprende a aquellos dispositivos adaptados para encerrar un gas, en el cual, se mantiene una diferencia de potencial entre la pared interna del recipiente y un electrodo central.

Esto permite que, al incidir la radiación en el gas, se generen pares de iones que circulan entre los electrodos del detector, produciéndose así los pulsos eléctricos que se registrarán posteriormente.

De acuerdo a la región de voltaje en que operan estos detectores, se clasifican en cámaras de ionización, detectores proporcionales y los tubos de Geiger-Mueller.

b) Detectores por centelleo

Estos detectores cubren un grupo particular de materiales en los cuales, al incidir partículas cargadas, se ionizan o excitan los átomos del medio, los que al volver a su estado original producen una emisión de luz que se denomina centelleo.

La radiación generada se hace incidir en un tubo fotomultiplicador en el que se amplifica y se convierte a señales eléctricas.

c) Detectores semiconductores

La manera en que operan este tipo de detectores es semejante a la de una cámara de ionización como se explicará a continuación.

En realidad cada detector es una unión de dos semiconductores tipos n y p de modo que alrededor de la línea en que se juntan se crea una región pequeña, sin cargas, conocida como zona de depleción, en la que se mantiene un campo eléctrico por medios externos lo que hace que cuando en ella incida radiación, se generen ionizaciones que llevan electrones de la banda de valencia a la de conducción produciéndose pares electrón-agujero que serán separados y capturados en las fronteras del material.

Así, se genera un pulso eléctrico cuyo procesamiento posterior dará la información necesaria para el análisis de la radiación incidente.

Los detectores semiconductores han llegado a revolucionar los métodos de espectrometría utilizados para el estudio de radiación nuclear ya que ofrecen una mayor resolución, estabilidad y eficiencia que las cámaras de ionización.

d) Detectores termoluminiscentes

El proceso de detección por termoluminiscencia comprende dos pasos esenciales, primeramente, la radiación incidente hace que los electrones del material pasen a un nivel de energía en el que quedan atrapados, es decir, no regresarán al estado original.

Luego, un calentamiento del material permite que los electrones sean liberados y regresen a un estado de menor energía emitiéndose luz, cuya información se convertirá a señales eléctricas y se amplificará por medio de un fotomultiplicador.

La frecuencia de la luz emitida tiene una relación lineal con la temperatura a que fue sometido el material.

Una vez detectada la radiación por algunos de los métodos descritos anteriormente, la información recibida en pulsos eléctricos debe ser procesada para su análisis. Esto se discutirá a continuación.

SISTEMAS DE ANALISIS

Los detectores mencionados en la sección anterior en realidad codifican dos parámetros de la información que obtienen de la radiación incidente:

- a) La intensidad, por medio del número de pulsos eléctricos generados por el detector.
- b) La energía (o temperatura), identificada por la altura de estas señales.

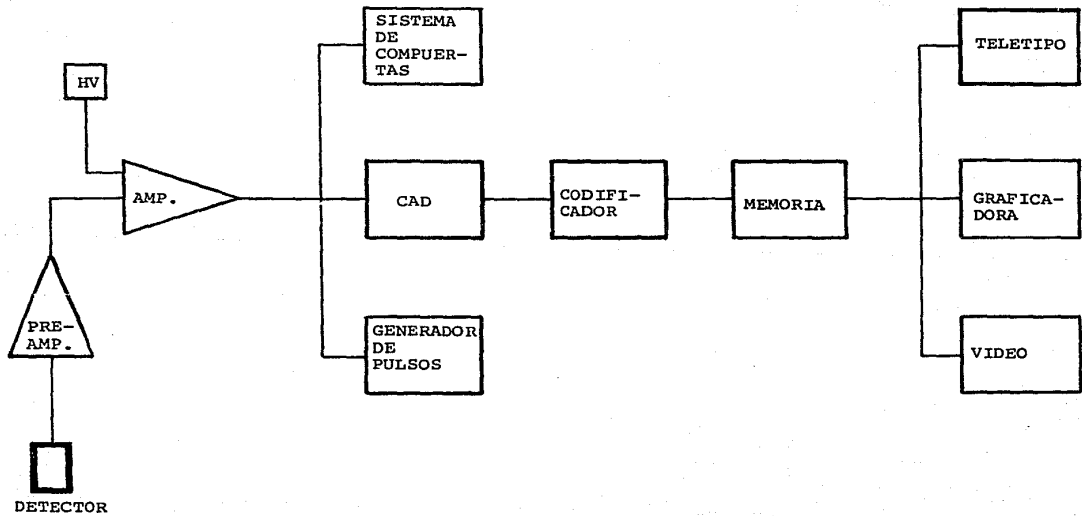
El método de análisis de señales analógicas utilizado en este trabajo tiene por objetivo clasificar y contar los pulsos convertidos a una representación digital.

Para ello es necesario el dispositivo denominado Convertidor Analógico-Digital (CAD) que forma parte esencial del sistema de análisis conocido como analizador multicanal o simplemente multicanal. A continuación se describirá la función de las partes más importantes que forman a este último (fig. 1.4).

1. El detector. Produce señales eléctricas al incidir la radiación en él. De esta manera se genera la información analógica que posteriormente será analizada.
2. El preamplificador. Actúa como acoplador entre el detector y el resto del sistema, uniendo dos dispositivos de impedancia diferente además de maximizar la razón de señal ruido generada por el detector.
3. El amplificador lineal. Recibe la señal anterior en forma de pequeños pulsos, los amplifica y les da un perfil específico para ser mandada después al analizador.
4. Analizador multicanal. Realiza la clasificación y conteo de los pulsos recibidos. En la clasificación, un CAD convierte la altura de cada señal a un número de localidad de la memoria del multicanal en que se almacenará una cuenta, es decir, en la que se realiza un conteo.

El intervalo de altura que comprende cada localidad de memoria se denomina ancho de canal o ancho de ventana. El número de localidades de memoria disponible en un multicanal es generalmente de 256 a 8192, con una capacidad de conteo máximo de 10E5 a 10E6 cuentas cada una.

Los datos guardados en memoria se pueden mostrar en una gráfica sobre la pantalla del multicanal en la que se mapea el número de cuentas por su respectivo número de canal.



Sistema Analizador Multicanal
FIG. 1.4

proporcionando una distribución estadística de la altura de los pulsos recibidos del detector.

A esta gráfica se le llamará en adelante "espectro de radiaciones" si proviene de un detector de ionización, centelleo o estado sólido, o bien "curva termoluminiscente" cuando se refiere a este otro tipo de detector.

A continuación se darán a conocer al lector algunas nociones necesarias para el análisis estadístico de este tipo de distribuciones.

ANALISIS ESTADISTICO DE UN ESPECTRO DE RADIACIONES

La gráfica creada por el multicanal, como ya se mencionó anteriormente, muestra una distribución de energía o temperatura según corresponda a espectros de radiaciones o curvas termoluminiscentes respectivamente.

Un concepto de interés para el investigador es el de resolución (ec. 1.4), que se define como el cociente del ancho de pico a la mitad de su altura máxima, FWHM (Full Width Half Maximum), entre el número de canal en que se encuentra.

$$R = \text{FWHM}/H \quad 1.4$$

Los detectores que permiten obtener una resolución mínima (tres o cuatro canales de ancho de pico) son los de estado sólido (detectores de germanio).

Ahora, para el análisis estadístico de estos espectros se necesita una representación analítica de ellos. Una manera de hacerlo se puede obtener definiendo la distribución de altura de pulso $dN(H)$ como

$$dN(H) = R(H, E) S(E) dE \quad 1.5$$

en donde $R(H, E)dE$ depende de factores intrínsecos del detector y expresa la probabilidad de que se forme un pulso de altura H al incidir radiación de energía E dentro de una incertidumbre dada por dE . De esta manera, $S(E)$ corresponde a una distribución real de la energía de la radiación detectada.

Sin embargo, el espectro generado por un multicanal no es continuo sino discreto, lo que hace necesario modificar la ecuación anterior por

$$N(i) = \sum R(i, j) S(j) \quad 1.6$$

en donde $N(i)$ indica el número de cuentas registradas en el

canal i -ésimo, $R(i, j)$ es una matriz de respuesta del detector que expresa la probabilidad de que se genere un pulso registrado en el i -ésimo canal ante la incidencia de radiación con energía dentro de un rango j -ésimo, resultando entonces que $S(j)$ corresponde a la intensidad real de las emisiones incidentes en el mismo intervalo de energía.

Este mismo formalismo se puede aplicar a curvas termoluminiscentes si se considera la temperatura T en vez de la energía E .

Así, el objetivo que se persigue en el análisis estadístico de un espectro será, precisamente, encontrar la distribución $S(j)$ lo que implica dificultades matemáticas de consideración ya que requiere de métodos numéricos muy elaborados para su solución.

En la actualidad, la aplicación de la computación en la investigación científica ha permitido simplificar y acelerar una gran cantidad de las actividades desarrolladas en el laboratorio, aumentando así la eficiencia en todos los análisis que implican cálculos muy complicados.

Por ello, en esta tesis se propone un sistema automatizado de análisis de señales analógicas, lo que puede aplicarse a espectros de radiaciones y curvas termoluminiscentes. Los problemas que tuvieron que resolverse para este fin es el tema de este trabajo.

A continuación se discutirá como se acoplaron los elementos que forman este nuevo sistema automatizado.

C A P I T U L O I I

INTERCONEXION DE LOS ELEMENTOS FISICOS DEL SISTEMA SISAM

Como ya se señaló anteriormente, en este trabajo se propone el diseño de un sistema analizador de señales digitales obtenidas de un multicanal (espectros de radiaciones y curvas termoluminiscentes), cuyo control es llevado por una microcomputadora.

Este sistema, al cuál se le llamó SISAM, tiene la capacidad de ejecutar las siguientes funciones:

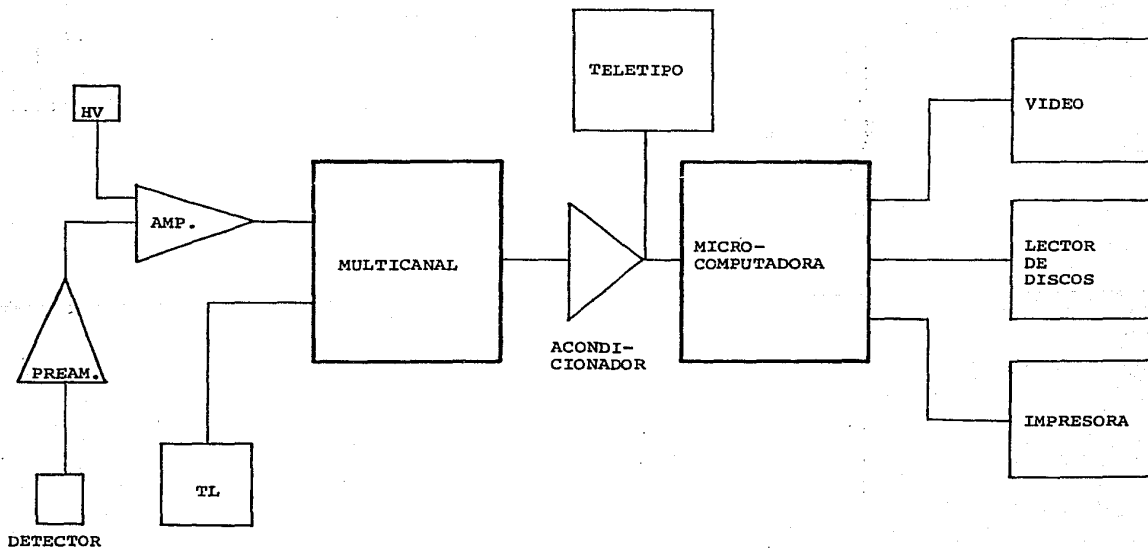
- a) La transferencia de datos del multicanal a la computadora.
- b) El almacenamiento en disco de los datos transferidos.
- c) Su análisis completo.
- d) Algunas funciones de utilería para los archivos.

En la figura 2.1 se muestra un diagrama del sistema SISAM, en el cuál el multicanal recibe información analógica, ya sea de un detector de estado sólido o de uno termoluminiscente. Luego, digitaliza estas señales y las transfiere a la computadora para su procesamiento.

De esta manera, durante la construcción del sistema se presentaron dos tipos de problemas:

- a) La forma de acoplar el multicanal con la computadora.
- b) El software que permite llevar el control del sistema.

La solución del primer inciso es el tema de este capítulo. Así, a continuación se describirán algunas características importantes de la computadora y el multicanal utilizados para este trabajo, con los que se logró realizar la interconexión.



Sistema Analizador
Multicanal S I S A M
FIG. 2.1

ARQUITECTURA DE UNA MICROCOMPUTADORA

De manera general, una computadora puede considerarse compuesta de seis partes fundamentales (fig. 2.2):

- 1) Un reloj que proporciona la unidad de tiempo en que se efectúan las operaciones.
- 2) Una unidad de procesamiento central (CPU) que coordina las actividades de la microcomputadora.
- 3) Memoria permanente (ROM), que contiene los algoritmos o programas que especifican las funciones propias de la máquina.
- 4) Memoria con capacidad de almacenamiento temporal (RAM) que guarda programas del usuario y datos.
- 5) Puertos de salida que comunican al procesador con el exterior, permitiéndole transmitir información.
- 6) Puertos de entrada, que reciben información del exterior.

Se entenderá por microprocesador a un circuito integrado que contenga al CPU.

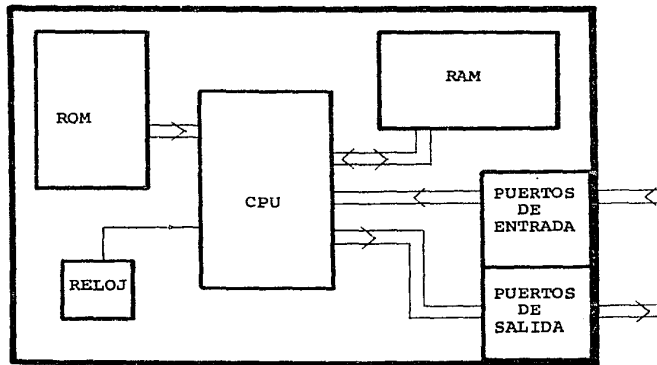
La microcomputadora utilizada dispone de un microprocesador Zilog Z-80, que fue introducido a la venta en el año 1976 como una versión mejorada de los que existían entonces. Incluye todo el conjunto de instrucciones de Intel 8080 y algunas funciones características de Motorola 6800, además de otras nuevas.

Todo sistema computador puede ser expandido agregando memoria y/o dispositivos periféricos, lo que ha llevado a la necesidad de diseñar acondicionadores estandarizados que permitan que el intercambio de información sea manejado de igual manera por diferentes fabricantes.

A continuación se darán algunos ejemplos de estos estándares.

Bus S-100

El bus S-100 consiste en un banco de conectores situados en paralelo sobre una misma tarjeta. Estas líneas llevan direcciones, datos e información de señales de control.



Arquitectura de una microcomputadora
FIG. 2.2

Estándares de comunicaciones

Los estándares de comunicaciones transmiten información en paralelo o en serie. De éstos, los más utilizados para una transferencia serial son el RS-232 y el lazo de corriente (fig. 2.3).

Antes de proceder a describirlos se definirá como "Bit", a la unidad de información que se presenta físicamente como un impulso de voltaje o corriente, identificándose con los valores de uno o cero lógicos.

RS-232

El estándar de comunicaciones RS-232 genera niveles de voltaje entre 5 y 25 V para el cero lógico, y entre -5 y -25 V para el uno lógico. A estos niveles se les llama también condiciones de Mark y Space respectivamente.

Lazo de corriente

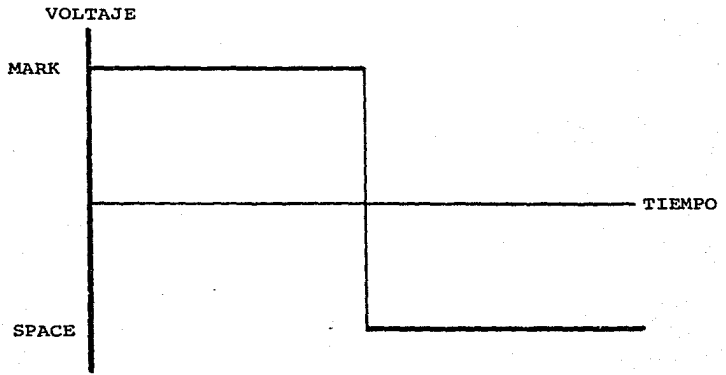
El estándar de comunicaciones, lazo de corriente, genera niveles de corriente de 20 o 60 mA para el cero lógico (condición de Mark) y una corriente nula para el uno lógico (condición de Space).

Se define Velocidad de Transmisión, a la velocidad con que es transferida la información, y su unidad es el Baudio (un bit por segundo).

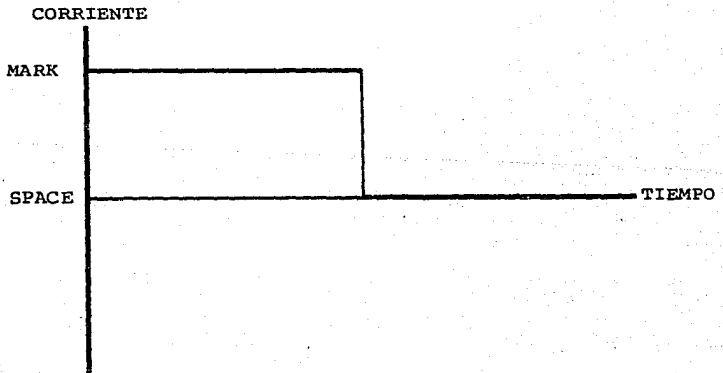
El estado normal en que se mantienen ambos estándares es el de cero lógico.

Para terminar con la descripción de la computadora se mencionará que ésta dispone de una tarjeta llamada TU-ART, con dos canales para entrada y salida de información, cada uno con un estándar RS-232, un lazo de corriente de 20 mA y un puerto de entrada y salida en paralelo.

A continuación se discutirá acerca de la otra parte importante del sistema SISAM, el multicanal, y la manera en que éste se acopló a la computadora.



RS-232



LAZO DE CORRIENTE

Estándares de
comunicación
FIG. 2.3

MULTICANAL NS-700

Todas las partes que integran el multicanal utilizado en el sistema SISAM, se pueden clasificar en tres grupos bien definidos:

a) El primero comprende un circuito de entrada para señales analógicas, un amplificador y un convertidor analógico a digital (CAD) con resolución de 8192 canales.

b) En este segundo grupo se considera una memoria de 1024 localidades, cada una con capacidad de almacenar hasta $10E6$ cuentas.

También se considera en este grupo un modo de acceso a registros de datos y direcciones en paralelo para ser conectado a una computadora, desafortunadamente, este modo de acceso no fue aprovechado ya que toda la información y accesorios necesarios para los fines mencionados ya no se encuentran en el mercado y no se pudieron conseguir.

c) Por último, se consideran algunos circuitos para funciones específicas. Se pueden mencionar como ejemplos un convertidor de binario a BCD, un escalador en decenas y un convertidor logarítmico.

En adelante se centrará la atención en dos funciones importantes del multicanal: los modos de adquisición de datos para obtener espectros de radiación y curvas termoluminiscentes, y los modos de la salida de información del multicanal al teletipo, utilizada para su interconexión con la computadora.

1) MODO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El multicanal dispone de dos modos de adquisición de datos:

a) PHA (Analizador de altura de pulso): En este caso se convierte un pulso analógico en una señal digital por medio del CAD (Convertidor Analógico a Digital).

b) MSM (Multiescalador): En este modo los eventos registrados en cada localidad de la memoria son guardados en función del tiempo.

II) MODOS DE SALIDA DE LA INFORMACION DEL MULTICANAL

El multicanal puede proporcionar al usuario la información almacenada en su memoria de cuatro formas diferentes que se indican por la posición de sus controles, como se muestra a continuación.

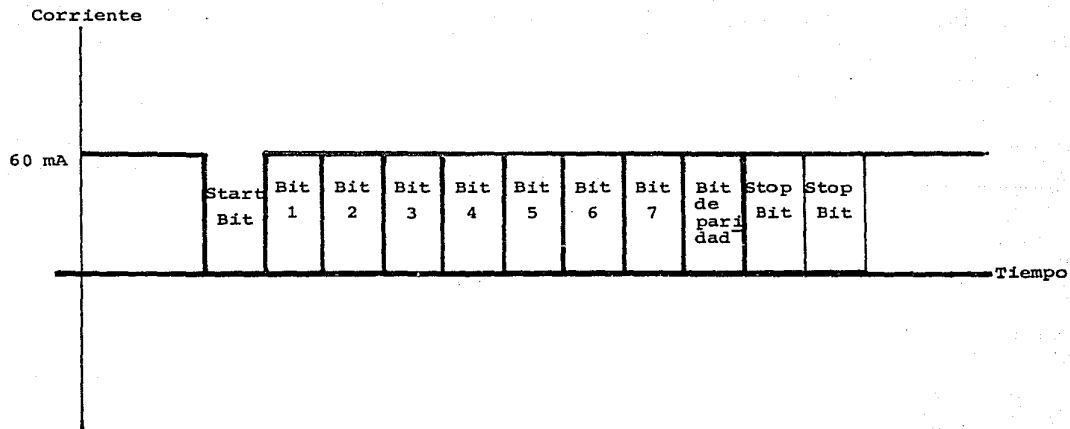
- a) CRT: Esta posición despliega una gráfica sobre la pantalla del multicanal. En ésta se tiene una curva de número de cuentas en función del número de canal.
- b) TYPE: En este modo se transfiere a un teletipo el listado de datos del espectro, indicando el número de canal y su respectivo número de cuentas.
- c) INTEGRATE: Aquí, el multicanal despliega sobre una pantalla digital, el número total de cuentas comprendido en una región del espectro especificada por el usuario.
- d) TYPE/DISPLAY: Realiza el mismo cálculo mencionado en el inciso anterior, pero también se habilita el teletipo, o cinta de papel o la impresora, en donde se imprimen los resultados.

Para la interconexión entre el multicanal y la computadora se utilizó el segundo modo de transferencia de información, es decir, las señales dirigidas al teletipo se mandarán directamente a la computadora en donde se almacenarán y procesarán.

Estas señales son transmitidas a través de un estándar lazo de corriente de 60 mA, con una velocidad de transmisión de 110 baudios. Cada caracter de información está formado por 11 bits que siguen el siguiente formato (fig. 2.4):

1. Un primer bit que indica el comienzo del caracter (Start Bit).
2. Siete que corresponde propiamente al caracter, y cada uno de ellos se identifica con el código ASCII (Véase ap. F).
3. Un bit de paridad.
4. Dos últimos bits que indican el fin del caracter (Stop Bits).

El multicanal tiene la capacidad de proporcionar su información en teletipo por medio de tres formatos diferentes:



Protocolo de comunicación
del lazo de corriente de
60 mA del multicanal

FIG.2.4

a) Lectura normal: En este caso, cada línea del listado presenta el siguiente patrón de caracteres ASCII:

CR LF XXXX SP YYYYYY SP YYYYYY SP YYYYYY SP YYYYYY SP YYYYYY

el cual se repite hasta el último canal de memoria, el 1023, terminando con la secuencia

CR LF EDT

en donde el significado de cada caracter mostrado es:

CR: Carriage Return.
LF: Line Feed.
XXXX: Cuatro dígitos que identifican el número del canal listado.
SP: Espacio.
YYYYYY: Seis dígitos que indican el total de cuentas del canal correspondiente.
EDT: End of Tape.

b) Lectura por selección: En este modo cada línea del listado presenta la dirección y el número de cuentas de cada canal de acuerdo al siguiente formato:

CR LF XXXX SP YYYYYY

para indicar el fin de la transmisión con

CR LF EDT

c) Modo de integración: Aquí se calcula el número total de cuentas de una región del espectro cuyos límites el usuario define por medio de los controles del multicanal, en las posiciones Start y Stop, proporcionándose el resultado con el siguiente formato:

CR LF START = XXXX (direccion)
CR LF STOP = XXXX (direccion)
CR LF INT = YYYYYY(integral)

De esta manera se han presentado al lector las bases necesarias para acoplar el multicanal con la computadora. A continuación se detallará cómo fueron aprovechadas estas ideas para efectuar la interconexión.

ACOPLAMIENTO ENTRE EL MULTICANAL Y LA COMPUTADORA

En páginas anteriores se mencionó que el multicanal dispone de una salida en paralelo para acoplarse a una computadora, sin embargo, no fue utilizada por carecer de la información necesaria para su correcto control, lo que motivó a tomar en cuenta la salida a teletipo, que es un estándar lazo de corriente de 60 mA.

Por otro lado, la tarjeta TU-ART de la microcomputadora dispone de otro lazo de corriente pero de 20 mA como protocolo de interconexión.

La diferencia de corriente entre estos dos estándares es notable lo que impide que se puedan acoplar directamente el multicanal con la computadora, resolviendo el problema con un optoacoplador.

El optoacoplador (fig. 2.5) es un circuito integrado que dispone de un fototransistor cuya corriente base es regulada por cambios de intensidad luminosa de un fotodiodo.

De este modo, el multicanal es conectado a la parte del optoacoplador que corresponde al fotodiodo y la computadora a la del fototransistor.

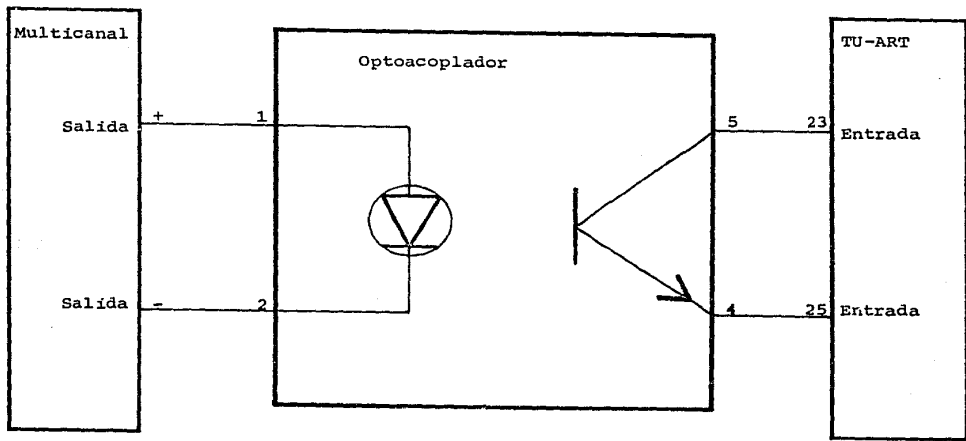
La velocidad de transmisión de esta salida es de 110 baudios, que no se trató de aumentar para no alterar ningún circuito interno del multicanal. Aunque esta velocidad puede considerarse lenta, es bastante cómoda para ejecutar el programa de captura del sistema en un intérprete Basic y poder utilizar el teletipo al mismo tiempo.

En la fig. 2.6 se muestran tres diagramas que indican las diferentes posiciones de un interruptor de tres pasos y dos polos, y los elementos del sistema que son habilitados en cada posición. Esto último se muestra esquemáticamente en la fig. 2.7.

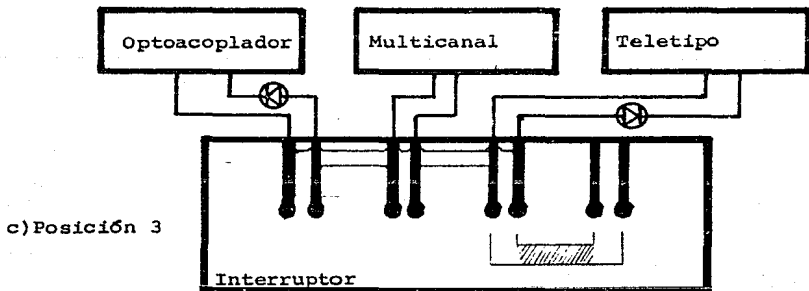
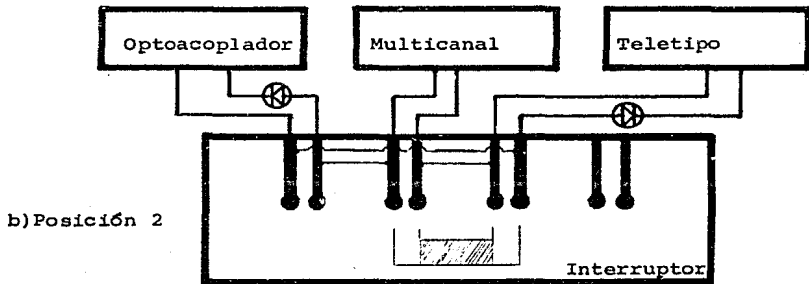
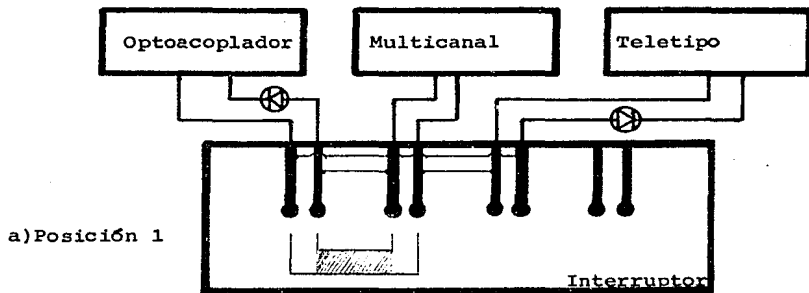
De este modo, los primeros esquemas de las figuras 2.6 y 2.7 indican que el multicanal y la computadora están interconectados. La segunda posición para el multicanal y el teletipo. La tercera indica que los tres elementos del sistema están conectados en serie.

En la fig. 2.8 se muestran tres indicadores que permiten notificar al usuario el o los elementos del sistema que están habilitados. El primer diodo corresponde a la computadora, el segundo al multicanal y el tercero al teletipo.

De los conectores mostrados, el primero es para la computadora, el segundo para el multicanal y el siguiente para el teletipo.



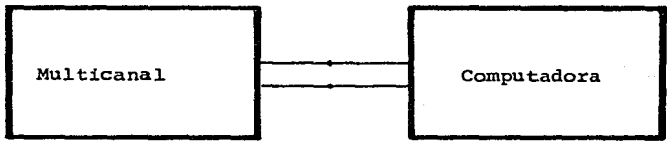
Uso del optocoplador como
interfaz entre el multicanal
y la computadora
FIG. 2.5



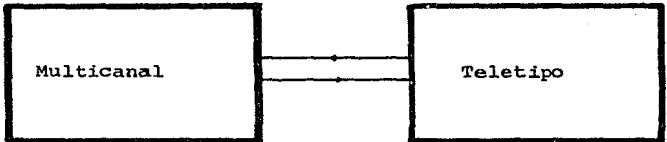
Posiciones del interruptor que habilitan los elementos del sistema analizador SISAM
 FIG. 2.6

Una vez realizada la interconexión, queda ahora por resolver el siguiente problema, el software necesario para llevar a cabo el control del sistema, desde la captura de datos del multicanal por la computadora, hasta el análisis íntegro de éstos, lo que será tema de discusión del siguiente capítulo.

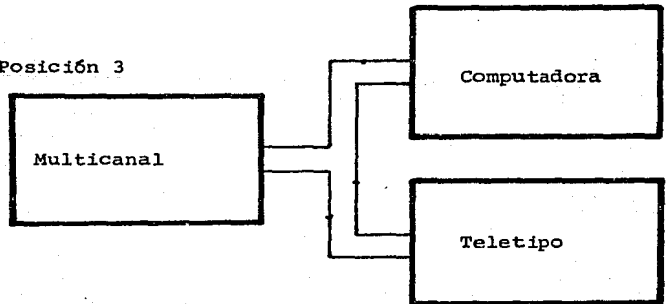
a) Posición 1



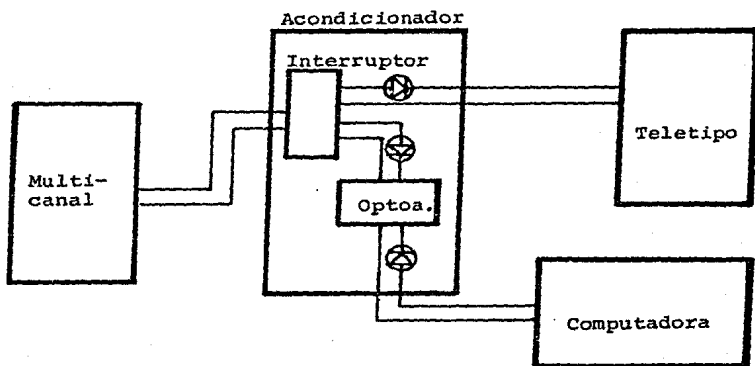
b) Posición 2



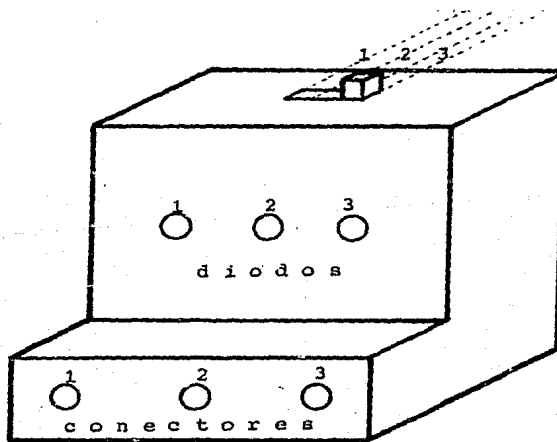
c) Posición 3



Interconexiones posibles
entre los elementos físicos
del sistema SISAM
FIG. 2.7



a) Esquema del sistema analizador SISAM



b) Acondicionador

Sistema Analizador
SISAM
FIG. 2.8

C A P I T U L O I I I

DESCRIPCION DE LOS PROGRAMAS DEL SISTEMA ANALIZADOR SISAM

En páginas anteriores se mencionó que el sistema analizador SISAM tiene la capacidad de ejecutar las siguientes funciones (fig. 3.1):

- a) La transferencia y almacenamiento de la información del multicanal.
- b) El análisis completo de los espectros que se requieran.
- c) Acceso a un directorio de espectros del disco utilizado.
- d) Algunas otras funciones de utilería: Suma y resta de espectros, borrado de un espectro, salida a CDOS o SBASIC de Cromemco e impresión de cualquier tipo de información de un espectro.

El objetivo de este capítulo consiste en dar una descripción de las funciones mencionadas y discutir los métodos matemáticos que fueron necesarios para este trabajo.

El primer tema que se pondrá a discusión corresponde a la forma en que se realizó la transferencia de información del multicanal a la computadora.

SISTEMA ANALIZADOR SISAM

FUNCIONES DE DIRECTORIO
FUNCION DE CAPTURA
FUNCIONES DE ANALISIS
FUNCIONES DE UTILERIA

FUNCIONES DE DIRECTORIO

Directorio.
Lectura y modificación de información particular de un espectro.

FUNCION DE CAPTURA

Transferencia y almacenamiento de datos.

FUNCIONES DE ANALISIS

Gráfica.
Búsqueda de picos.
Estimación de la existencia de picos dobles.
Ajuste de picos.
Relación de energía con número de canal.
Listado de resultados.
Almacenamiento de resultados.

FUNCIONES DE UTILERIA

Suma y resta de espectros.
Borrado de un espectro.
Salidas a Sbasic y Cdos.
Iniciación de disco.

Esquema funcional del sistema analizador SISAM
FIG. 3.1

TRANSFERENCIA Y ALMACENAMIENTO DE DATOS DEL MULTICANAL A LA COMPUTADORA

Para la transferencia de información del multicanal a la computadora se utilizó el estándar de comunicaciones Lazo de Corriente, lo que ya se discutió en el capítulo anterior.

Los datos son recibidos en el puerto de entrada de la computadora cuyo control se lleva a cabo por un programa elaborado para realizar su captura.

En él se ejecutan los siguientes pasos:

- a) Se inicia al puerto de entrada con el formato que tiene la información que se va a recibir.
- b) Se define un arreglo de 1024 localidades para el almacenamiento temporal de los datos capturados.
- c) Se hace la identificación de cada uno de los caracteres recibidos de acuerdo a los siguientes términos:
 - i) El primero por obtener debe ser un CR (Carriage Return).
 - ii) Cada vez que se recibe un Sp (Espacio), se inicia la rutina de empaque para los siguientes seis dígitos que forman el dato esperado, se convierte a la representación numérica interna del intérprete utilizado (SBASIC) y se almacena en el arreglo definido anteriormente.
 - iii) El último dato que debe recibirse es un EDT (End of Tape) que indica el fin de la transferencia.
- d) Para terminar, se almacena en forma definitiva la información en el disco.

En el apéndice A se presenta una descripción detallada de las características del puerto de entrada utilizado para la captura.

Se ha decidido utilizar un disco como volumen de la biblioteca de espectros de radiaciones y curvas termoluminiscentes, y en cada disco, tener cuatro clases de información:

- a) Un directorio de los nombres de los espectros contenidos en el disco.
- b) Algunas características particulares de cada espectro: Nombre, tipo de muestra, tipo de radiación, tiempo de análisis y comentarios.
- c) Los datos capturados.
- d) Los resultados de los análisis desarrollados sobre los espectros del disco: Canal y número de cuentas de los picos encontrados, su respectivo ancho de pico y el factor de linealidad entre la energía (o temperatura) y el número de canal, además de un valor definido como Función de Ajuste que da un criterio para estimar la validez de este ajuste, lo que se discutirá en las páginas siguientes.

Todos los archivos necesarios para estos fines se crean automáticamente, sin intervención directa del usuario.

La captura de datos del multicanal es una de las partes centrales del sistema analizador SISAM. La otra corresponde al análisis de un espectro. A continuación se discutirá brevemente, cuáles son los objetivos que se persiguen con esta última opción.

ANALISIS DE UN ESPECTRO

El Sistema Analizador SISAM dispone de un grupo de cuatro opciones con las que se puede realizar el análisis de un espectro.

Estas funciones son

- a) La búsqueda de picos con cierto ancho.
- b) El ajuste de picos a una curva teórica (gaussiana o parábola).
- c) Estimación de la existencia de un pico doble en caso de que el ajuste no sea aceptable.
- d) Relación lineal entre energía (o temperatura) y número de canal.

Todas éstas requieren de métodos matemáticos específicos, los cuáles se describirán a continuación.

BUSQUEDA DE PICOS

El espectro capturado no forma una curva continua. Los picos de interés son alterados por ruido de alta frecuencia y un fondo que varía lentamente, por esto es necesario disponer de un criterio que permita distinguir los picos verdaderos de los producidos por otros efectos.

La solución que se presenta en este trabajo se denomina Segunda Diferencia Suavizada (ver ref. 9), en el que una función de convolución se aplica sobre los datos del espectro, actuando como un filtro que permite pasar únicamente los picos verdaderos, con poco margen de error.

La función indicada es (fig. 3.2):

$$Kon(j) = \sum L(i)K(i) \quad \text{para } i=j-M \text{ a } j+2M-1 \quad 3.1$$

en donde $K(i)$ corresponde al número de cuentas del i -ésimo canal, j a la posición del canal analizado y M a la estimación inicial del ancho de los picos que se desean localizar.

Además,

$$L(i) = \begin{matrix} -1 & \text{para} & j-M \leq i \leq j-1 \\ 2 & \text{para} & j \leq i \leq j+M-1 \\ -1 & \text{para} & j+M \leq i \leq j+2M-1 \end{matrix} \quad 3.2$$

Puede demostrarse (ver ap. B) que

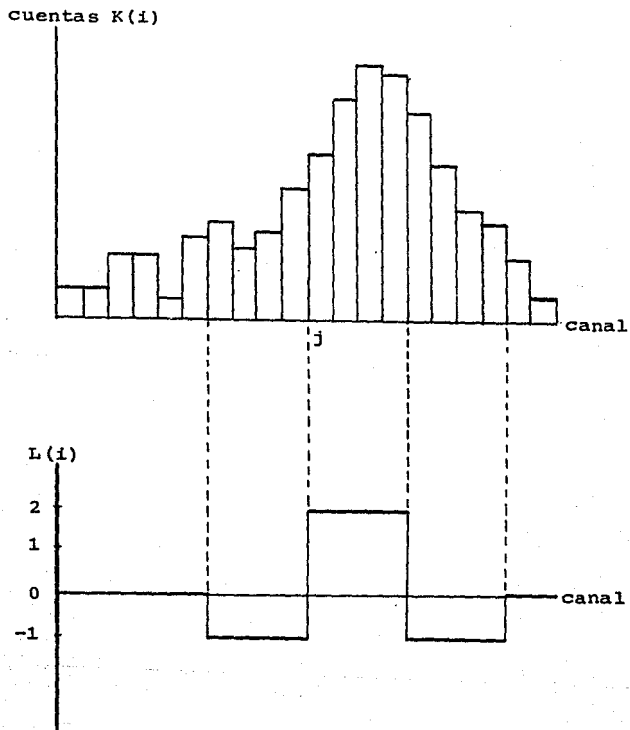
$$Kon(j) = \sum (K(i) - K(i-M) - (K(i+M) - K(i))) \quad \text{de } i=j \text{ a } j+M-1 \quad 3.3$$

También, la varianza de $Kon(j)$ está dada por

$$Var(j) = \sum L(i)L(i)K(i) \quad i=j-M \text{ a } j+2M-1 \quad 3.4$$

logrando definir una función normalmente distribuida alrededor del cero con una desviación estándar igual a la unidad (ec. 3.5), a menos que se encuentre en la vecindad de un pico o fondo que varíe lentamente en un rango aproximado al ancho del pico estimado.

$$Conv(j) = Kon(j) / Var(j) \approx 0.5 \quad 3.5$$



Uso de la función $Kon(j) = \sum L(i)K(i)$
 para la determinación de la existencia de un pico con ancho del orden de cuatro canales

FIG. 3.2

Se ha encontrado que un valor mayor de tres o cuatro para $Conv(j)$ es una buena estimación para considerar que en el canal j está localizado un pico. Cuando se encuentran varios canales con esta característica y están seguidos uno del otro, se escoge al de mayor número de cuentas como representante de la parte central del pico.

El siguiente paso en el análisis de un espectro, luego de encontrar los picos, es el ajuste de ellos a una curva teórica, sin embargo, éste puede dar un mal resultado, posiblemente porque cerca del pico ajustado se encuentre otro que no haya sido detectado. Por esto se presenta a continuación, otro algoritmo que estima la existencia de un pico doble y que se discutirá antes de pasar al ajuste de una curva teórica.

ESTIMACION DE LA EXISTENCIA DE UN PICO DOBLE

El programa utilizado para la ejecución de esta función es semejante al del caso anterior. Para esto se define el residuo $Chi(j)$ como

$$Chi(j) = (K(j) - Y(j)) / K(j) * 0.5 \quad 3.6$$

en donde $K(j)$ es el número de cuentas en el j -ésimo canal y $Y(j)$ corresponde a su valor estimado de acuerdo a la curva teórica considerada.

Así, se aplica la función de convolución dada en 3.2 con

$$Rcon(j) = \sum L(i) Chi(i) \quad i=j-M \text{ a } j+2M-1 \quad 3.7$$

y como la desviación estándar será

$$RSD = (6M) * 0.5 \quad 3.8$$

se obtiene la distribución normalizada

$$Dob = Rcon(j) / Rsd \quad 3.9$$

la cuál indica la posibilidad de la existencia de otro pico en el canal $j+M/2$ cuando Dob excede un valor de tres o cuatro.

Se sugiere que este programa se utilice en caso de que el de ajuste haya dado un resultado poco confiable.

A continuación se discutirán los métodos numéricos utilizados para ajustar los datos del espectro a una función dada, que en principio, corresponde al método de mínimos cuadrados, distinguiendo dos casos, aquél en que la función por minimizar tenga una dependencia lineal de sus parámetros, y el otro para cuando la dependencia es no lineal.

AJUSTE DE DATOS EXPERIMENTALES A UNA CURVA TEORICA

Una parte importante del análisis que puede realizar el sistema SISAM se basa en el ajuste de un grupo de datos experimentales a cierta curva teórica.

Esto se aplica, por un lado, para encontrar la relación lineal entre Energía (o Temperatura) por número de canal, y por el otro, para realizar un ajuste de los datos experimentales de un pico a la función teórica propuesta.

En términos generales, el ajuste de estos datos se ejecuta definiendo primeramente la función $f(a; x(i))$ a la que deben acercarse los datos experimentales $Y(x(i))$.

La función $f(a; x(i))$ está definida sobre los valores de $x(i)$ y determinada por el o los parámetros dados como $a=(a(1), \dots, a(r))$.

Ahora, sea F la suma de residuos cuadráticos entre los datos experimentales y la función teórica como se muestra en la ecuación 3.10, la cual está también determinada por el grupo de parámetros $a=(a(1), \dots, a(r))$.

$$F = \sum (Y(x(i)) - f(a; x(i)))^2 / Y(x(i)) \quad 3.10$$

El ajuste se obtiene encontrando el valor mínimo de F con una estimación conveniente de sus parámetros.

Cuando la dependencia de F respecto de sus parámetros es lineal, la solución es inmediata, no ocurriendo así, si no se cumple esa condición, teniendo necesidad de utilizar métodos numéricos más elaborados.

En las siguientes secciones se ampliará la discusión sobre estas dos posibilidades.

a) Método de mínimos cuadrados lineal

Se tienen dos problemas en el Sistema Analizador SISAM que pudieron resolverse utilizando este método.

Uno corresponde a encontrar la relación lineal entre Energía (o Temperatura) por número de canal de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$f(a, b; x(i)) = a \cdot x(i) + b \quad 3.11$$

en donde f es la energía o temperatura que representa el canal $x(i)$, y , a y b son los parámetros que deben estimarse, es decir, sus valores serán modificados hasta obtener la mejor aproximación de 3.11 a una línea recta.

El otro caso corresponde al ajuste de datos cercanos a la parte central del pico en consideración, con una parábola cuya ecuación está dada por:

$$f(a; x(i)) = a(x(i) - X)^2 + B \quad 3.12$$

en donde $f(a; x(i))$ es el número de cuentas del canal $x(i)$, X corresponde a la posición central del pico analizado, el coeficiente a representa el parámetro que debe ajustarse y B , el número de cuentas en el canal X .

El mínimo valor de F , definida en la ecuación 3.10 por medio de 3.11 y 3.12, se obtiene resolviendo el sistema de ecuaciones generado con

$$\text{grad } F = 0 \quad 3.13$$

Ello da para 3.11 un sistema de ecuaciones con las que pueden calcularse los valores de a y b , y para la ecuación 3.12, se tiene una sola ecuación que da el valor del único parámetro por estimar, a . En los apéndices D y E se hacen explícitamente los desarrollos que llevan a las soluciones correspondientes.

Quando la función por minimizar no depende linealmente de sus parámetros como en las ecuaciones mostradas aquí, se hace necesario utilizar un método numérico más elaborado. El que se presenta a continuación se denomina Método de Métrica Variable, que también se utilizó en el Sistema Analizador SIBAM.

b) Método de Métrica Variable

El método de Métrica Variable (ver ref. 14) permite minimizar una función F , por medio de un proceso iterativo simple.

Antes de exponer en qué consiste, se indicará la notación que se va a utilizar.

Se considerarán n parámetros por ajustar, a los que se les llamará

$$X = (X(1), \dots, X(n))$$

que determinan la función $F(X)$ correspondiente a la ecuación 3.10.

De esta manera, F es un escalar y X un vector de dimensión n .

Además se necesitará obtener el cálculo de otro vector, el gradiente de F con respecto de cada uno de sus parámetros:

$$g = \text{grad } F \quad 3.14$$

en cada iteración se calcula el incremento d que deberá darse a los parámetros por medio de la siguiente relación:

$$d = -LHg \quad 3.15$$

en donde $L=1$, H corresponde a una matriz $n \times n$ cuyos elementos se someten a un proceso iterativo de convergencia como se explicará mas adelante.

El cálculo del incremento d permite encontrar los valores de las funciones mencionadas definidas de esta manera:

$$\begin{aligned} X^* &= X + d \\ F^* &= F(X^*) \\ g^* &= g(X^*) \\ y &= g^* - g \end{aligned} \quad 3.15$$

Para terminar con estas reglas de notación se mencionará únicamente que los vectores X , d , y , g , tienen una representación de renglón, y que sus correspondientes transpuestas, vectores columna, se indicarán con un apóstrofe: X' , d' , y' , g' .

El programa se desarrolla de la siguiente manera:

Se estiman valores iniciales para cada uno de los parámetros $X(i)$ y elementos de la matriz H . Ahora, por medio de la ecuación 3.15 se obtiene el incremento paramétrico d para calcular posteriormente los nuevos valores de X , F , g e y , como se muestra en 3.16.

Cada nuevo cálculo del incremento d va acompañado de una nueva estimación de los elementos de la matriz H , éstos deben converger a cierto valor y se calculan por medio de una de dos fórmulas, escogidas de acuerdo a si la condición 3.17 se cumple o no.

De esta manera, si

$$d'y < y'Hy \quad 3.17$$

el nuevo valor de H debe darse por

$$H^* = H + dd'/d'y - Hyy'H/y'Hy \quad 3.18$$

En caso de que 3.17 no se cumpla, los valores de H deberán darse por medio de la siguiente ecuación:

$$H^* = H - dy^*H/d^*y + (1+y^*Hy/d^*y)dd^*/d^*y - Hyd^*/d^*y \quad 3.19$$

La justificación de que este método minimiza la función F se proporciona en la ref. 14. Resumiendo, se puede decir que el procedimiento iterativo de los cálculos dados en 3.17 y 3.18 o 3.19, permite llegar a un valor mínimo de la función F.

Hay tres condiciones que deben cumplirse, de lo contrario significaría que hay un error en el proceso o en el diseño del programa:

a) En caso de que

$$(F^*-F)/d^*g < u \quad 0 < u <= 1 \quad 3.20$$

no se puede llegar a una convergencia de H, por lo que deberá realizarse un ajuste en el incremento d de la ecuación 3.15, haciendo $L=L/10$, o bien, volver a iniciar todo el proceso dando una nueva evaluación inicial de los parámetros X(i) y los elementos de la matriz H.

b) Otra posibilidad es que

$$d^*g > 0 \quad 3.21$$

lo que motiva a tener una estimación inicial de los elementos de la matriz H, ya que no se obtendrá la convergencia esperada porque se están dando incrementos paramétricos en la misma dirección en que aumenta la función F, como se puede apreciar en la fig. 3.3.

c) También puede ocurrir que

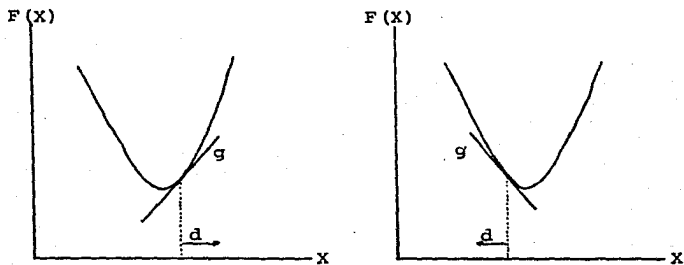
$$d^*g < 0 \quad \text{y que} \quad F^* > F \quad 3.22$$

lo que significa que la función F tiene dos mínimos muy cercanos, como se muestra en la fig. 3.4.

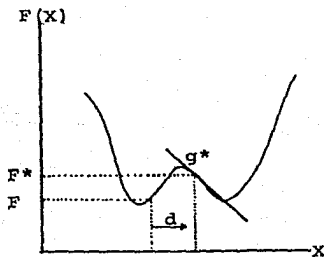
Un desarrollo explícito de todas estas relaciones se da en el apéndice C.

El programa se detiene cuando la función F adquiere un valor menor a 1.5, o bien, han pasado más de 50 iteraciones.

Así, la función F permite dar un criterio para considerar la precisión con que fue hecho el ajuste.



Ejemplo ilustrativo
de la condición $d'g > 0$
FIG. 3.3



Ejemplo ilustrativo de la
condición $d'g^* < 0$ y $F^{**} > F$
FIG. 3.4

Este programa se utilizó para el caso particular de radiación gamma, en el que el perfil de sus picos puede considerarse como la superposición de varios efectos bien determinados, como se discutirá a continuación.

PERFIL DE UN PICO DE RADIACION GAMMA

El sistema SISAM tiene la capacidad de realizar el ajuste de picos tanto de espectros de radiación gamma como curvas termoluminiscentes. Pero para el primer caso, el perfil dado en cada pico tiene una estructura particular debido a todos los efectos que influyen en el proceso de detección (ver ref. 9).

Aquí se decidió elaborar el perfil del pico por medio de la suma de varias funciones que representan los efectos mencionados, los que se pueden agrupar en tres clases diferentes (fig. 3.5):

- 1) Una contribución gaussiana dada por un comportamiento ideal del detector:

$$Y(j) = \sum G(i) \exp(-(|X(i,j)|/d(i))^{**2}) \quad 3.23$$

en donde $Y(j)$ es el número de cuentas en el canal j -ésimo, y los parámetros correspondientes son

$$X(i,j) = X(i) - X(j)$$

indicando la diferencia del j -ésimo canal con el de la posición central del pico i -ésimo, $G(i)$ es el número de cuentas de la parte central del pico i -ésimo y $d(i)$ su ancho de pico.

- 2) Otra contribución está dada por efectos de superficie y creación de pares con su correspondiente aniquilación.

- 3) Un fondo suave que puede representarse de la siguiente manera

$$B(j) = A + B + C/j^{**2} \quad 3.24$$

en donde $B(j)$ es el fondo dado en el canal j -ésimo y A , B y C son parámetros por estimar.

Para efectos prácticos se consideraron únicamente las contribuciones dadas en 1) y 3) y evitar así un número excesivo de parámetros que implicarían cálculos muy largos para una microcomputadora, además de considerar que los

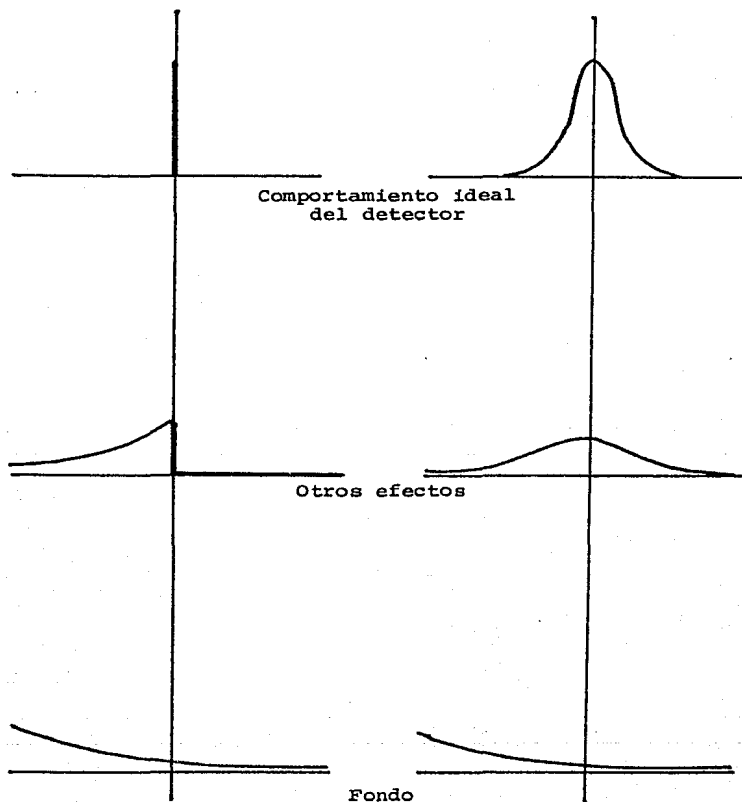


Ilustración de los efectos físicos que contribuyen en la generación de un espectro de radiación gamma. Los ejes verticales indican la posición del pico de interés. En el grupo de la izquierda se consideran estas contribuciones desde un punto de vista ideal y en el de la derecha lo que se obtiene en la realidad.

FIG. 3.5

efectos mencionados en 2) no son de extrema importancia en el resultado final.

Así, la función que representa el perfil de los picos generados por radiación gamma puede expresarse como

$$Y(j) = \sum G(i) \exp(-(X(i, j)/d(i))^{*2}) + B(j) \quad 3.25$$

en donde se tiene una suma sobre contribuciones de los picos denotados por el subíndice i en el canal j-ésimo.

Y con esto, la función por minimizar es:

$$F = (1/2N) \sum ((K(j) - Y(j))^{*2}/K(j))^{*0.5} \quad 3.26$$

en la que N es un factor de normalización igual al número de canales considerados menos el número de parámetros, K(j) corresponde al número de cuentas experimental dado en el j-ésimo canal e Y(j) su valor teórico.

La suma se realiza con un número pequeño de canales alrededor de la posición central del primero y último de los picos considerados.

Con esto se cubren por completo los métodos matemáticos aplicados en el sistema analizador SISAM. Este tiene además varias funciones de utilería que se mencionarán en la siguiente sección.

FUNCIONES DE UTILERIA

El sistema analizador SISAM dispone de un conjunto de opciones que permiten realizar otras funciones diferentes a las hasta ahora mencionadas.

Estas funciones son:

- a) El borrado de un espectro que ya no se desee.
- b) La suma o resta de dos espectros dados para crear uno nuevo.
- c) La impresión en papel de los resultados del análisis e información particular de cada espectro.
- d) Salida a Basic y Cdos, y preparación de un disco para formar parte de la biblioteca.

Los programas que ejecutan estas funciones de utilería no presentan complicaciones que deban tomarse en consideración, por lo que no se profundizará más en la discusión de éstos.

En el capítulo siguiente se ofrece al lector una guía para el uso correcto del sistema analizador SISAM.

C A P I T U L O I V

GUIA DEL USO DEL SISTEMA ANALIZADOR SISAM

El sistema analizador SISAM (Fig. 4.2) tiene la capacidad de ejecutar diferentes funciones que permiten el análisis completo de un espectro de radiaciones. Estas pueden agruparse de la siguiente manera (Fig. 3.1):

a) Funciones de directorio

1. Directorio.
2. Información de un espectro (lectura).
3. Actualización de la información de un espectro.

b) Función de captura

4. Captura de un espectro.

c) Funciones de análisis

5. Análisis de un espectro.
 - i. Graficación de una región del espectro.
 - ii. Búsqueda de picos.
 - iii. Ajuste de los datos de un pico a una curva teórica.
 - iv. Obtención del factor de linealidad entre energía (o temperatura) y número de canal.
 - v. Estimación de la existencia de un pico doble.
 - vi. Listado de resultados.

d) Funciones de utilería

6. Suma o resta de dos espectros.
7. Preparación de un disco para que forme parte de la biblioteca.
8. Eliminación de un espectro.
9. Entrada al intérprete SBASIC.
10. Entrada al sistema operativo CDOS.
11. Impresión de resultados.

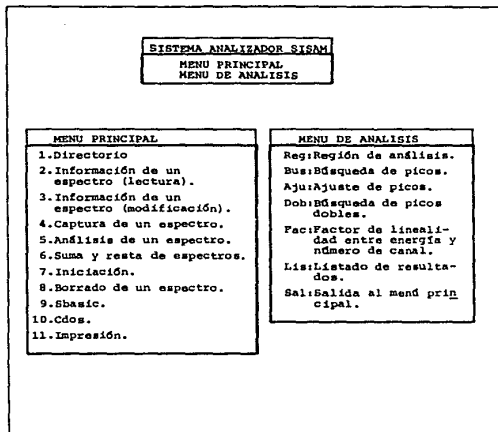
Todas estas funciones se estructuraron en dos menús, como se muestra en la figura 4.1, lo que permite disponer de varias ventajas:

En primer lugar, el usuario puede transitar por cualquiera de las opciones e indicar cuál debe ejecutarse sin necesidad de que tenga conocimientos de computación.

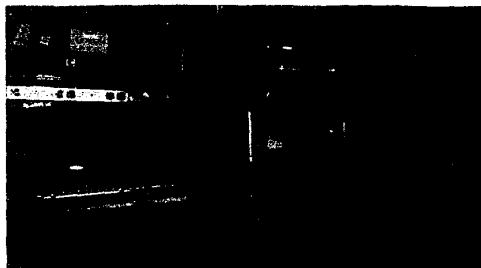
Por otro lado, existe la posibilidad de expandir y mejorar las funciones del sistema introduciendo nuevas rutinas y sus respectivas líneas de referencia en el menú correspondiente, o en donde se desee indicar su ejecución.

Es por esto que la tesis propuesta aquí se considera como un punto de partida para la creación de sistemas más avanzados y completos, diseñados de acuerdo a nuevas necesidades presentadas en el trabajo del investigador.

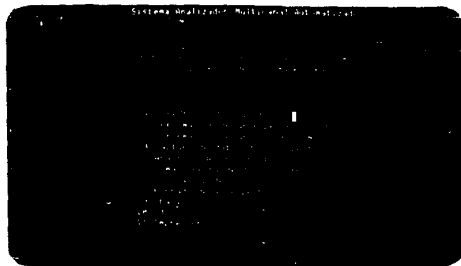
A continuación se presenta una guía del manejo del sistema analizador SISAM para posteriormente desarrollar el ejemplo ilustrativo de un caso en particular.



Estructura en menús del sistema analizador SISAM
FIG. 4.1



Sistema analizador SISAM
FIG. 4.2



Menú principal
FIG. 4.3

INSTRUCTIVO PARA EL USO DEL SISTEMA SISAM

El sistema se habilita automáticamente después de colocar los discos en los lectores respectivos de la máquina, el del sistema para el A y el de espectros para el B.

Para el manejo correcto de éste, es necesario conocer algunas indicaciones convenientes:

En primer lugar, se estableció que la posición del cursor servirá como indicador de la función que en ese momento puede habilitar el sistema, y así, la ejecución de las funciones del menú principal se ordenan por medio de las teclas <S><RETURN>.

Para las opciones del menú de análisis, deberá darse <X><RETURN> en donde <X> es cualquiera de las letras R, B, A, F, D, L, S, cuyas funciones se discutirán mas adelante.

Cuando aparece en el extremo inferior izquierdo el símbolo <esc> o ...<esc> significa que el sistema está detenido y que deberá oprimirse la tecla <ESC> para que continúe operando.

Por último, esta misma puede utilizarse para interrumpir una rutina en cualquier momento y regresar al menú correspondiente, pero no estará habilitada si se está transfiriendo información al disco.

A continuación se describirán las funciones del sistema.

FUNCIONES DE DIRECTORIO

El sistema dispone de tres funciones que proporcionan al usuario información de los espectros que se encuentran almacenados en el disco y son:

1. Directorio:

Esta función permite mostrar un listado de los nombres de los espectros que contiene el disco de trabajo (fig. 4.4).

2. Información de un espectro (lectura):

Esta rutina lista en el video los siguientes datos de un espectro (fig. 4.5):

- a) Nombre del espectro.
- b) Fecha en que se realizó el experimento.
- c) Identificación de la muestra que se analizará.
- d) Tipo de radiación que fue detectada.
- e) Tiempo de análisis de la muestra.
- f) Comentarios de otra naturaleza.

Antes, el sistema solicita el nombre del espectro para poder proporcionar la información mencionada.

3. Información de un espectro (modificación):

Por medio de esta otra opción se da la capacidad al sistema de actualizar o corregir cualquiera de los datos mencionados en el inciso anterior. Aquí también debe contestarse adecuadamente el nombre del espectro cuando el sistema lo requiera (Fig. 4.6).

Las funciones aquí descritas no dependen entre sí, es decir, el usuario puede ejecutarlas en el orden que más convenga a sus necesidades.

FUNCION DE TRANSFERENCIA

Esta opción se encarga de ejecutar la transferencia de información del multicanal a la computadora. Cabe recordar que en el tercer capítulo se discutió la manera en que opera el programa.

Una vez ordenada la ejecución de esta función el sistema pregunta al usuario por el nombre y la información particular del espectro que se va a capturar, de acuerdo a lo que se vio en la sección anterior.

Luego se informa al usuario que el puerto de entrada de la computadora está preparado para recibir la información (Fig. 4.7), para lo cual, el control del multicanal READ MODE deberá colocarse en la posición TYPE y posteriormente, oprimir el botón READOUT, comenzando así el proceso de transferencia.

El resto del trabajo se realiza automáticamente hasta tener el espectro almacenado en el disco, permitiendo regresar el control del sistema al menú principal.

FUNCIONES DE ANALISIS

Este tipo de funciones comprende un menú con varias opciones que permite realizar el análisis completo de un espectro.

Para ello, luego de ordenar desde el menú principal la ejecución de la opción de análisis, el sistema pregunta por el nombre del espectro que se deberá procesar.

Inmediatamente después se muestra en la pantalla la información particular del espectro indicado como se describió en la sección de Directorio.

Antes de entrar el sistema al menú de análisis, éste notifica si ya se han realizado procesamientos del espectro en cuestión, para preguntar posteriormente si se quiere leer el resultado de uno de estos o ejecutar uno nuevo.

Dependiendo de la respuesta dada, se entra de manera diferente al menú de análisis.

Si se quiere leer estos resultados, el menú se muestra junto con el listado de resultados que se pidieron, en caso contrario, aparecerá el menú y una gráfica del espectro completo en escala decimal.

Así, en el extremo superior derecho de la pantalla se presenta (Fig. 4.9):

(Reg,Bus,Aju,Fac,Dob,Lis,Sal)

cuyas funciones se describirán a continuación.

Reg: Genera la gráfica de una región del espectro en escala decimal o logarítmica.

Bus: Una vez definida la región de análisis por medio de la anterior opción se ordena la búsqueda de picos con un ancho aproximado a una estimación dada por el usuario.

Aju: Realiza el ajuste de los datos experimentales pertenecientes a picos encontrados en la opción anterior a una curva teórica, ya sea gaussiana o parábola.

Fac: Por medio de esta función se calcula el coeficiente de linealidad que determina la relación entre la energía o temperatura con su respectivo número de canal.

Dob: Aquí se estima la existencia posible de un pico no localizado cerca de otro que sí haya sido detectado.

Lis: Proporciona al usuario un listado de los resultados del análisis realizado con los siguientes datos:

- i) El número de canal en que se localizan los picos encontrados.
- ii) El número de cuentas dado en este canal.
- iii) El área bajo la curva de cada pico.
- iv) Energía o temperatura que le corresponde al canal en que se localizan los picos.
- v) El valor de la función de ajuste (F_c de A_j) que es la que se minimiza en esta rutina, de acuerdo a lo explicado en el capítulo III.

Sal: Finalmente, esta opción permite regresar al menú principal con la posibilidad de almacenar o no los resultados obtenidos.

FUNCIONES DE UTILERIA

El uso de esta familia de opciones se describirá a continuación:

a) La opción de Iniciación prepara un disco para que forme parte de la biblioteca de espectros. En caso de que no esté iniciado de esta manera, el cursor se colocará automáticamente en esa posición y no podrá moverse hasta que se ordene su ejecución.

b) Se tienen dos opciones que permiten manipular los datos de los espectros capturados:

i) La suma y resta de dos espectros, con la que se crea uno nuevo proporcionando su información particular de la misma manera en que se hace para la función de captura. El nuevo espectro es el resultado de sumar o restar, canal por canal, los dos espectros escogidos inicialmente. Con esta opción se puede eliminar la radiación de fondo de un espectro.

ii) La eliminación de un espectro, con la que se da la opción de borrar del disco un espectro que ya no se desea. Se preparó de modo que no pueda hacerse esto con más de uno a la vez como medida de precaución.

c) Las opciones SBASIC y CDDS permiten dejar el sistema SISAM para entrar al intérprete o al sistema operativo respectivamente.

d) Por último se dispone de la opción Impresión, en la que la información particular y los resultados del análisis de un espectro se transfieren a una impresora. Durante el desarrollo de esta rutina se indica que debe teclearse <CTRL><P> tanto para habilitar como para detener la impresora.

De esta manera se ha descrito la forma en que todas las opciones del sistema analizador SISAM operan. Para terminar el capítulo se describirá brevemente un ejemplo práctico.

Directorio de espectros obtenidos del multicanal

CALIBRA.DAT	FONDO.DAT	MUESTRA1.GAM	MUESTRA2.GAM
MUS.GAM	CAL001.DAT	CAL002.DAT	LIFS.TLD
LIF30.TLD	YES0004.DAT	YES00F04.DAT	YES0003.DAT
CLASE.CAL	CLASE2.CAL	YES00F03.DAT	CAL003.DAT
ARENA001.DAT	ARENA002.DAT	YES0002.DAT	ELENA001.DAT
YES0001.DAT	CALNF03.DAT	CALFACT.DAT	CALIBRA1.DAT

(ESC)

Función de directorio
Pág. 4.4

LECTURA DE DATOS DE UN ESPECTRO

Nombre del espectro: MUESTRA.GAM
 Fecha: 198206
 Tipo de muestra: CO68 Cs137
 Tipo de experimento: GAMMA
 Tiempo de exposición: 300 S

Comentario:
 Muestra de Co68 y Cs137 con duración del análisis de 300 s.
 Detector de Germanio.
 SCA 143 (CABERRA): ULD=100,LLD=20.
 SPECTROSCOPY AMPLIFIER 1413 (CABERRA)
 Coarse Gain=300, Fine Gain=170
 Shaping= us.
 BIAS SUPPLY 459 (ORTEC): Output Voltage 250.
 AMPLIFIER 576 (ORTEC): Gain=540, Coarse Gain=24,
 Shaping time= us.

Función de lectura de
información particular
de un espectro
Pág. 4.5

REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN DE MUESTRA.GAM (letra Co.71)

1.Nombre: MUESTRA.GAM 2.Fecha: 198206
 3.Muestra: CO68,Cs137 4.Experimento: GAMMA
 5.Tiempo de exposición: 300 S

6.Comentario:
 Muestra de Co68 y Cs137 con duración del análisis de 300 s.
 Detector de Germanio.
 SCA 143 (CABERRA) ULD=100,LLD=20.
 SPECTROSCOPY AMPLIFIER 1413 (CABERRA)
 Coarse Gain=300, Fine Gain=170
 Shaping= us.
 BIAS SUPPLY 459 (ORTEC) Output Voltage 250.
 AMPLIFIER 576 (ORTEC) Gain=540, Coarse Gain=24,
 Shaping time= us.

Desee modificar (1,2,3,4,5,6,7)?

Función de modificación de
la información particular
de un espectro
Pág. 4.6

Captura de un espectro

Información del nuevo espectro

1.Nombre: MUESTRA.GAM
 2.Fecha: 198206
 3.Muestra: Co 68 Cs137
 4.Letra, beta, gamma, TL: GAMMA
 5.Tiempo de análisis: 300 s

6.-Comentario (máximo 9 renglones, dar RTN al término de cada renglón)
 Muestra de Co 68 y Cs 127 con duración del análisis de 300 s.
 Detector de Germanio.
 SCA 143 (CABERRA) ULD=100, LLD=20
 SPECTROSCOPY AMPLIFIER 1413(CABERRA) Coarse Gain=300, Fine Gain=170
 Shaping= us.
 BIAS SUPPLY 459 (ORTEC) Output Voltage 250.

Se puede borrar los datos

Función de captura de
datos de un espectro
Pág. 4.7

EJEMPLO PRACTICO

En lo que resta del capítulo se describirá, a manera de ejemplo, el proceso que se siguió para realizar el análisis de la radiación gamma emitida por una muestra de Co60 y Cs137.

Para ello se utilizó un detector de germanio que permite crear espectros de alta resolución. Las condiciones experimentales que se adoptaron fueron las ya establecidas en el laboratorio en base a la experiencia que se tiene y se muestran en la Fig. 4.5.

La exposición duró 300 segundos. Una gráfica generada por el multicanal se muestra en la Fig. 4.8, en donde se pueden observar los picos característicos del Co60 y del Cs137.

Para cargar el sistema analizador en la computadora, luego de encenderla, se colocó el disco SISAM en el lector A y el de espectros en el B, se tecléo tres veces <RETURN> e inmediatamente después apareció en el video el menú principal (Fig. 4.3).

En este momento se encuentra que el cursor se ha colocado en la primera opción "Directorio", lo que indica que el disco ya está preparado para usarse como volumen de la biblioteca. Podemos conocer los nombres de los espectros que se tienen si se tecléa <S><RETURN> en esta función. Inmediatamente aparece un listado de los archivos (Fig. 4.4), en donde podemos darnos cuenta cuáles están guardados.

Con <ESC> regresamos al menú principal para poder realizar la captura de datos.

Esta última función se ordena colocando primero el cursor en la opción "Captura de datos de un espectro", para lo cual es necesario tecléar tres veces <RETURN> y luego <S><RETURN>.

Así, el sistema empieza a pedir la información particular del espectro que se desea capturar preguntando:

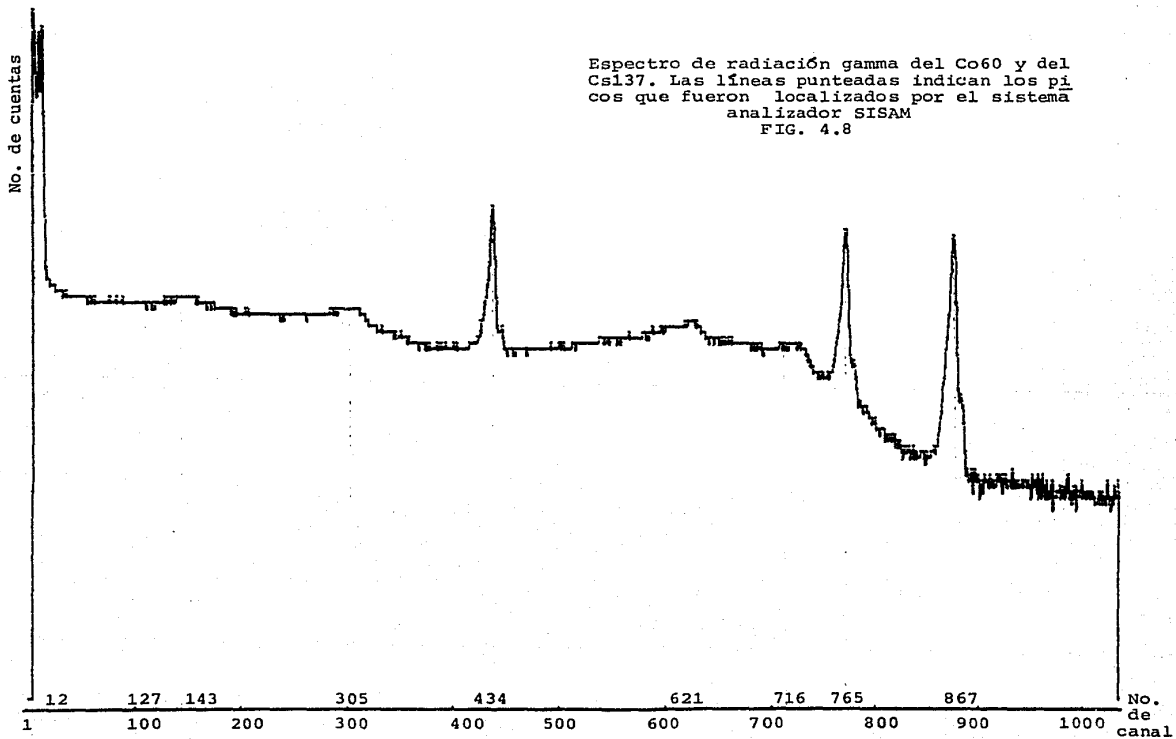
El nombre del espectro (al que se le llamó MUESTRA.GAM), la fecha de realización, el tipo de muestra, el tipo de radiación, el tiempo que duró el análisis y comentarios de otra naturaleza. Todos estos datos se dieron tecléando <XXXX...><RETURN>, en donde XXXX... es la respuesta que se proporcionó.

La sección de comentarios tiene nueve renglones, y, en los que no se deseó escribir nada, solo se oprimió la tecla <RETURN>. Al terminar el último renglón de esta parte del análisis aparece el mensaje

****Ya puede mandar los datos****

Espectro de radiación gamma del Co60 y del Cs137. Las líneas punteadas indican los picos que fueron localizados por el sistema analizador SISAM

FIG. 4.8



lo que indica que el multicanal debe habilitarse para que pueda transferirlos. Para ello, el usuario colocará el control del multicanal READ MODE en la posición TYPE y se oprimirá luego el botón READOUT.

<ESC> permite interrumpir esta función y regresar al menú principal siempre y cuando se invoque antes de la transferencia de la información en el disco.

Al terminar la captura, el sistema muestra al usuario un listado de toda la información proporcionada y que ya se almacenó en el disco. En ese momento, basta oprimir <ESC> para regresar al menú principal.

Lo que se hará a continuación será realizar el análisis del espectro. Para ello se ordena la ejecución de la opción Análisis, posicionando el cursor en el lugar correspondiente por medio de teclar <RETURN> el número de veces necesario y dando luego <S><RETURN>.

De inmediato el sistema pregunta por el nombre del espectro que se desea analizar, a lo que se le contesta MUESTRA.GAM. Como anteriormente no se había hecho ningún otro análisis, se pregunta al usuario si quiere un análisis automatizado o no. Para ordenar la segunda opción se dio <N><RETURN>, con lo cual, se crea una gráfica del espectro en escala decimal y el menú de análisis queda de inmediato a disposición del usuario.

Así, en el primer renglón de la pantalla, el sistema muestra al usuario el nombre del espectro MUESTRA.GAM y el menú de análisis (Req,Bus,Aju,Fac,Dob,Lis,Sal), en el segundo renglón se tiene indicado el tiempo de análisis, la región considerada del espectro "Región(1,1023)" y la escala decimal o logarítmica usada en la gráfica, la que se despliega a partir del cuarto renglón.

Sin embargo, como la gráfica proporcionada es de baja resolución, al utilizar en este caso escala decimal se pierde por completo la definición de la curva. Por ello ordenamos una nueva gráfica de toda la región tecleando <R><RETURN>.

De inmediato, el cursor se posiciona a un lado de "Región(", en donde deberá escribirse <1><RETURN> <1023><RETURN> que son los límites inicial y final de la región del espectro que se desea analizar.

Luego el cursor se coloca al final de la expresión (DEC/LOG), en donde por medio de <L><RETURN> ordenamos que la escala de la gráfica sea logarítmica.

En esta escala sí es posible ver los picos característicos de la muestra utilizada (Fig. 4.9).

Es necesario hacer notar que la búsqueda de picos realizada por el sistema no depende de la presentación visual

del espectro, de ahí que para realizar cualquier análisis sea irrelevante la escala utilizada.

El siguiente paso será localizar los picos que tiene el espectro. Esto se ordena con <RETURN>, después de lo cual, el sistema pregunta en el tercer renglón de la pantalla "Ancho de pico=", a lo que se contestó <4><RETURN>, indicando que se desean picos con un ancho del orden de cuatro canales.

Luego comienza la rutina de Búsqueda, indicando el cursor en el eje horizontal de la gráfica el canal en que se está haciendo el análisis. Se escribirá el símbolo "^" para notificar que se encontró un pico en el canal correspondiente. Al terminar el cursor regresa al menú de análisis.

Para conocer exactamente cuáles picos fueron localizados se teclaea ahora <L><RETURN>, en donde se hace el listado correspondiente.

Ahora se ajustarán los datos de los picos encontrados del espectro a una parábola, para lo cual deberá oprimirse <A><RETURN>. El sistema pregunta luego:

ANALISIS FINO? (S,N):

a lo que se respondió con <N><RETURN>, que corresponde al ajuste a una parábola. Se escogió ésta porque es más rápida que la anterior aunque un poco menos precisa.

En el desarrollo de esta rutina aparece primeramente un listado de los picos indicando: El número de pico localizado, el canal en que se encuentra, su ancho de pico, el número de cuentas en el canal correspondiente y una columna libre etiquetada con (S/RTN) en donde deberá indicarse si el pico formará parte del análisis o no (Fig. 4.10).

Para el ejemplo que se está siguiendo se tecléo <S><RETURN>, en todos los picos, para ordenar que todos deben ajustarse. De inmediato aparece otro listado de ellos, pero ahora se está indicando con un asterisco "*" el pico que ya se analizó y además se muestra una función de ajuste (F. de Aj.) con el valor de 0.00E-65 que no interviene en esta opción.

De esta manera se han ajustado nueve picos en total. De éstos, tres pueden identificarse con los picos característicos de la muestra: El quinto en el canal 434 con una energía de 0.662 Mev, el octavo pico en el canal 765 con 1.173 Mev y el noveno en el canal 867 con 1.332 Mev.

Los demás son, posiblemente, resultados del efecto Compton y retrodispersión del mismo detector.

Ahora, para determinar el factor de linealidad entre la energía y el número de canal deberá teclarse <F><RETURN>. Aparece entonces a partir del tercer renglón de la pantalla el encabezado:

(energía = m*canal + b)
Conoce los valores de m y b?(S/N)

a lo que se contestó con <N><RETURN> para ordenar el cálculo de m y b. De inmediato se presenta un listado de los canales en que están los picos encontrados y dos columnas libres, una con encabezado (S/RTN) y la otra que dice "Energía/Tem". La primera es para indicar si el pico será utilizado en el cálculo y la segunda para dar la energía correspondiente (Fig. 4.11).

Así, para los picos 1, 2, 3, 4, se tecló directamente <RETURN>. Al pico 5 se le dio <S><RETURN> y el cursor pasó a la siguiente columna en donde se escribió <662><RETURN>. Esto se sigue de igual manera con los picos 8 y 9.

Al terminar, el cursor regresa al menú de análisis y con <L><RETURN> se pueden listar todos los resultados obtenidos (Fig. 4.12).

En este momento se puede dar por terminado el análisis del espectro. Para regresar al menú principal deberá darse <S><RETURN>, a lo cual el sistema pregunta si se deberán almacenar los resultados, lo que se contestó afirmativamente con <S><RETURN>.

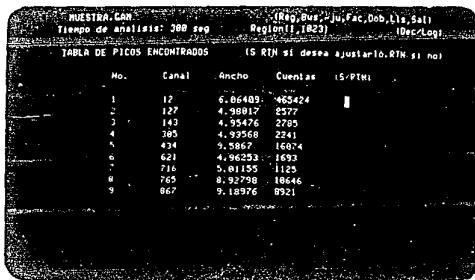
De inmediato el sistema pasa al menú principal.

La posterior identificación de los picos encontrados, de acuerdo a su energía, será ya labor del investigador con medios externos a este paquete.

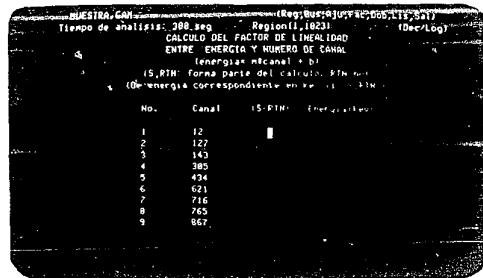
En el capítulo que sigue se discutirán brevemente algunas ventajas que este sistema ofrece de acuerdo a los resultados obtenidos.



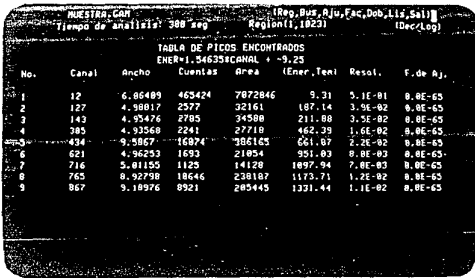
Función de determinación
 de la región de análisis
 de un espectro
 FIG. 4.9



Función de ajuste
 FIG. 4.10



Función de linealidad
 entre energía y canal
 FIG. 4.11



Listado de resultados
 FIG. 4.12

C A P I T U L O V

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En este capítulo se discuten brevemente los resultados obtenidos en el diseño del sistema SISAM, algunas opciones comerciales que se pretenden sustituir y las ventajas y desventajas que se encontraron.

RESULTADOS OBTENIDOS DEL SISTEMA SISAM

SISAM, objeto de este trabajo, requirió de resolver problemas de Hardware y Software para integrar en un solo sistema el multicanal NS-700, la microcomputadora Cromemco System One y el teletipo TTY.

No hubo necesidad de ningún dispositivo extra, mas que un pequeño circuito de interconexiones formado por un interruptor de 3 pasos y dos polos, un optoacoplador TIL 111 o 116 (u otra especificación conveniente), y 3 fotodiodos indicadores.

Otra parte importante del sistema fue la interfaz TU-ART de Cromemco, que permite comunicar a la microcomputadora con varias terminales por medio de dos canales de entrada/salida, en serie o en paralelo, de los cuales se uso el serial en modo Lazo de Corriente.

El programa diseñado para transferir la información se describe en el capítulo III, durando la captura del espectro un tiempo aproximado de 15 minutos al usar la velocidad de transmisión del teletipo, lo que permitió que el intérprete SBASIC haya sido lo suficientemente rápido para realizar esta captura.

El sistema permite procesar de manera sencilla la información digitalizada obtenida del multicanal, por medio de un conjunto de rutinas de análisis presentadas en una estructura de menús.

Ya que la memoria de la microcomputadora requerida por el intérprete SBASIC y el sistema operativo CDOS deja disponible para el usuario aproximadamente 13 Kbytes, cada programa del menú de análisis obtiene, de manera independiente, los datos que requiere durante su ejecución, y así ahorrar la mayor cantidad de memoria disponible.

El control del formato usado para la pantalla del video se llevó a cabo usando funciones Escape, recurso disponible de la terminal Beehive, modelo Basic, de la familia DMS que permite hacer gráficas de baja resolución.

Todas las rutinas fueron probadas satisfactoriamente como puede observarse de las fotografías del ejemplo dado en el capítulo anterior.

A continuación se describen algunos sistemas analizadores automatizados que se ofrecen a la venta y que realizan funciones similares al aquí propuesto.

SISTEMAS ANALIZADORES COMPUTARIZADOS COMERCIALES

Los nuevos analizadores computarizados también están integrados en un solo sistema.

Algunos permiten crear un conjunto de programas independiente del fabricante y otros no.

En principio, todas las funciones propias de estos sistemas las puede realizar el aquí propuesto.

ND65

La empresa Nuclear Data Inc., ofrece los sistemas ND65, ND65B y ND65 convertible, con las siguientes especificaciones:

- a) Sistema completo de espectroscopía electrónico.
- b) Capacidad de 4096 a 8192 canales.
- c) Adquisición y procesamiento de datos simultáneos.
- ch) Preamplificador, amplificador y fuente de poder para detector de alto voltaje en uso de espectros de centelleo y estado sólido.
- d) Programa BASIC (que permite el acceso y control de los datos).
- e) PHA, MCS.
- f) Terminal de computadora.
- g) Velocidad de transmisión de información de 3B Kbits/s
- h) Análisis automatizado.
- i) Tres puertos de entrada/salida.
- j) Interfaz para impresora con salida en paralelo.

Modelo 7100/7150 EG&G ORTEC

En este otro sistema, todo el control es realizado por un microprocesador.

Dispone de los siguientes modos de operación:

- a) PHA (Pulse Height Analyzer): Análisis de datos por medio de un ADC.
- b) MCS (Multichannel Scaling): Análisis de datos en función del tiempo.
- c) INPUT/OUTPUT (I/O) MODE: Transfiere datos, resultados de un análisis y autoprogramas a y desde equipos periféricos.

El convertidor analógico a digital tiene capacidad de conversión de ganancia para determinar la resolución del rango de voltaje deseado.

Realiza las siguientes funciones como procesamiento de datos:

- a) Suavización de los datos y ajuste de cinco puntos a una parábola.
- b) Calcula el centro de un pico.
- c) Obtiene la integral de una región de interés.
- d) Borra alguna región del espectro.
- e) Determina la energía de los datos que se encuentren en memoria.

Además dispone del llamado Modo de Autoprograma, que es una serie de pasos de programas que pueden controlar los archivos y operaciones analíticas del 7100, los cuales se introducen por medio de su teclado de contacto o por un sistema periférico.

Varios de los autoprogramas que contiene son:

- a) EDIT: Crea nuevos programas.
- b) ERASE: Borra alguno de los programas.
- c) RUN: Selecciona el programa que se va a ejecutar.

Tiene también las interfaces estándar RS-232-C (E/S) y lazo de corriente de 20 mA, para poder comunicarla con una casetera digital, impresora digital, graficadora analógica o SRC (Serial Remote Control).

VENTAJAS DEL SISTEMA SISAM

Después de haber revisado las características de los dos sistemas anteriores, puede mostrarse que todas las funciones que les son propias también SISAM las incluye, a excepción de la rapidez con que se realiza la transmisión de la información, lo cual no es una característica esencial.

En el ND65B, aun cuando se pueden hacer programas propios de análisis, la computadora está limitada a usarse con el analizador únicamente como el fabricante la diseñó.

El segundo ejemplo también es programable, pero solo con el menú de instrucciones disponibles del sistema.

Por ello se ofrece una ventaja en SISAM, ya que se tiene una microcomputadora totalmente independiente, con varias capacidades de expansión (uso de lenguajes Ensamblador, Basic, Fortran IV, Pascal), barata, funcional, etc., lo que permite modificarlo de acuerdo a las necesidades del usuario.

Basic Estructurado, por ser intérprete, es lento en los procesos de análisis, sin embargo, este problema puede resolverse usando un lenguaje compilador, por ejemplo, FORTRAN IV.

Con esto demostramos que no siempre es necesario comprar equipo experimental nuevo si se puede utilizar el que ya se tiene en existencia.

Se espera que este trabajo sea de utilidad para el lector como base para el diseño de sistemas analizadores más completos.

B I B L I O G R A F I A

- 1) The Atomic Nucleus.
Evans, R. D.
1955.
McGraw Hill, New York.
- 2) Radiation Detection
Measurement.
Knoll.
Pergamon Press Inc.,
- 3) Concepts of Radiation
Dosimetry.
Kenneth R. Kase and Walter
R. Nelson.
Pergamon Press Inc., 1978.
- 4) Nuclear Radiation
Detection.
Price, W. J.
McGraw-Hill, New York, 1958.
- 5) Radiactividad y su Medida.
Wilfrid B. Mann,
S. B. Garfunkel.
Ed. Reverté Mexicana, S. A.
1968.
- 6) Física, Volumen III:
Fundamentos Cuánticos
y Estadísticos.
Marcelo Alonso, Edward J. Finn.
Fondo Educ. Interamericano, S.A.
1971.
- 7) Conceptos de Física
Moderna.
A. Beiser.
Seguna Edición, 1977.
McGraw Hill.
- 8) Fully Automatic Quantitative
Analysis of Alfa Radiation.
Chambless and Parma.
Health Physics, July 1984.
Vol. 47, Number 1.
- 9) Automatic Analysis of
Gamma-Ray Spectra from
Germanium Detectors.
Gary W. Phillips,
Keith W. Marlow.
Nuc. Inst. and Meth.
137(1976)525-536
- 10) Automatic Peak-Locating
Techniques for Gamma-Ray
Spectra.
I. de Lotto and
A. Ghirardi.
Nuc. Inst. and Meth.
143(1977)617-620
- 11) A New Peak Search
Method for an Automatic
Spectrum Analysis Program.
H. P. Blok, J. C. de Lange
and J. W. Schotman
Nuc. Inst. and Meth.
128(1975)545-556.
- 12) An Analysis Method of
Gamma-Ray Pulse-Height Distri-
butions obtained with a
Ge(Li) Detector.
Sasamoto, Koyama and Tanaka.
Nuc. Inst. and Meth.
125(1975)507-523.
- 13) Quasi-Newton Methods
and their Application to
Function Minimisation.
C. G. Broyden.
Maths. Comput.
21(1966)368-381.
- 14) A new approach to variables
metric algorithms.
R. Fletcher.
Comp. J.
13,3(1976)317-322.

15) NS-700 Series
Pulse Height Analyzer.
Instruction Manual
Tracor Northern, Inc.

17) ORTEC Technical Data
550 Single Channel Analyzer.
January, 1976
ORTEC Incorporated.

19) Spectroscopy Amplifier.
Model 1413
Operating Manual
Canberra Industries, Inc.

21) EDDS Operating System
Instruction Manual
June, 1981
Cromemco, Inc.

23) Cromemco System One
Instruction Manual
March 1983
Cromemco, Inc.

25) Cromemco Z-80 Assembler
Instruction Manual
June 1981
Cromemco, Inc.

27) 64KZ Random Access
Memory.
Instruction Manual
January, 1980
Cromemco, Inc.

29) Cromemco Link and Lib.
Reference Manual
September, 1980
Cromemco, Inc.

31) Microcomputer-based.
design.
B. Peatman, John
Mc Graw-Hill Kogagusha, Ltd.
1977.

16) Photomultiplier Tube
Base-Amplifier.
Model 2007P
Instruction Manual
Canberra Industries, Inc.

18) Spectroscopy Amplifier.
Model 570
Operating and Service Manual
September 1981
EG & G ORTEC

20) Scaler.
Model 1771
Instruction Manual
Canberra Industries, Inc.

22) Cromemco 32K Structured
Basic
Instruction Manual
September, 1979.
Cromemco, Inc.

24) Cromemco TU-ART Digital
Interface
Instruction Manual
January 1980.
Cromemco, Inc.

26) Cromemco ZPU
Instruction Manual
January, 1980
Cromemco, Inc.

28) 16 FDC Floppy Disk
Controller.
Instruction Manual
August, 1980
Cromemco, Inc.

30) DMS Family Technical User
Manual. Video Display Terminal.
1981
Beehive International.

32) TV Typewriter Cookbook.
Lancaster, Don.
Howard, Sams & Co., Inc., 1976.

33) The Z80 Microcomputer Handbook.
William Barden, Jr.
First edition, 1979.
Howard W. Sams & Co., Inc.

35) Microprocessors and Digital Systems.
Douglas V. Hall.
International Student Edition.
Mc Graw-Hill International Book Company.

37) Análisis de Sistemas.
Claude McMillan y Richard F. González.
1977, 1a. edición.
Ed. Trillas.

39) Statistics, Methods and Analyses.
Lincoln L. Chao.
Second Edition, 1974.
Mc Graw-Hill International Book Company.

34) All About ASCII
Thomas W. Parsons.
November, 1980.
Microcomputing.

36) Introduction to Microprocessor System Design.
Harry Garland.
1979.
Mc Graw-Hill International Book Company.

38) Programación Fortran IV
D. McCracken.
Segunda Edición, 1982.
Ed. LIMUSA.

40) Multichannel Analyzer.
Model 7100/7150.
Instruction Manual.
EB&B ORTEC.

A P E N D I C E A

TU-ART
(Twin Universal Asynchronous Receiver Transmitter)

Esta interfaz proporciona dos canales de intercambio de datos en serie, dos en paralelo y diez contadores de intervalos de tiempo. Tiene además un reloj de cristal controlado e interfaz al bus S-100.

En él están incorporados dos circuitos integrados TMS 5501 NMOS, controladores de entrada y salida.

Se ha convenido en llamar a cada uno de estos chips como dispositivos A y B.

El TU-ART dispone de un conjunto de interruptores que establecen la dirección base de cada uno de los registros de los dispositivos A y B. Se entiende por dirección base a los 4 dígitos más significativos de la dirección de un puerto (tabla A.1).

Para el trabajo que se presenta aquí, se utilizó el dispositivo A como salida para la impresora (dirección 50H) y el B como entrada para el multicanal (20H).

	OFF	ON	SWITCH
	Z80/IM2.....	8080/IM0.....	1
	Hard. Ad. Rev...	Soft. Ad. Rev.....	2
dirección base del dispositivo A	A4=1.....	A4=0.....	3
	A5=1.....	A5=0.....	4
	A6=1.....	A6=0.....	5
	A7=1.....	A7=0.....	6
dirección base del dispositivo B	A4=1.....	A4=0.....	7
	A5=1.....	A5=0.....	8
	A6=1.....	A6=0.....	9
	A7=1.....	A7=0.....	10

El interruptor número 1 corresponde al modo interruptor IM0 del 8080 en ON y al IM2 del Z-80 en OFF.

El 2 indica el hardware y software de inversión de direcciones.

DIRECCIONES BASE DE DISPOSITIVOS A Y B
TABLA A.1

Cada dispositivo tiene 14 registros: un registro de estado, uno de velocidad de transmisión de información en serie, un registro de comando, un receptor y un transmisor de información en serie, un registro de direcciones interruptor y uno de enmascaramiento interruptor, un registro receptor y uno transmisor en paralelo y cinco contadores.

La dirección completa de un registro se determina por medio de ocho dígitos, de los cuales, los cuatro más significativos (A4-A7) corresponden a la dirección base del dispositivo utilizado, y los restantes dígitos (A0-A3), la dirección particular del registro correspondiente, como se puede ver en la tabla A.2.

A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	HEX (E/S)	REGISTRO
DIRECCION				0	0	0	0	0 (E)	Estado.
				0	0	0	0	0 (S)	Velocidad de Transmisión.
BASE				0	0	0	1	1 (E/S)	Receptor y Transmisor de datos.
DE				0	0	1	0	2 (S)	Comando.
				0	0	1	1	3 (E/S)	Dirección de interrupción.
LOS									Enmascarado interruptor.
DISPOSITIVOS				0	1	0	0	4 (E/S)	Datos en paralelo.
"A"				0	1	0	1	5 (S)	Contador 1.
				0	1	1	0	6 (S)	Contador 2.
Y				0	1	1	1	7 (S)	Contador 3.
				1	0	0	0	8 (S)	Contador 4.
"B"				1	0	0	1	9 (S)	Contador 5.

DIRECCIONES DE LOS REGISTROS DEL TU-ART
TABLA A.2

Esta información se utilizó en el programa de captura de datos en el que el control del registro de estado y de velocidad de transmisión permitieron la transferencia exitosa de esta operación.

A P E N D I C E B

DESARROLLO ALGEBRAICO DE LA FUNCION DE BUSQUEDA DE PICOS

$$Kon(J) = \sum L(I)K(I) \quad \text{con } I=J-M \text{ a } I=J+2M-1 \quad \text{B.1}$$

En este caso, la función L(I) está definida como:

$$\begin{aligned} L(I) &= -1 & J-M < I < J-1 \\ &= 2 & J < I < J+M-1 \\ &= -1 & J+M < I < J+2M-1 \end{aligned} \quad \text{B.2}$$

Y desarrollando la igualdad, se pueden considerar las tres sumatorias siguientes:

$$\begin{aligned} \text{a) } & \sum L(I)K(I) & I=J-M \text{ a } J-1 \\ \text{b) } & \sum L(I)K(I) & I=J \text{ a } J+M-1 \\ \text{c) } & \sum L(I)K(I) & I=J+M \text{ a } J+2M-1 \end{aligned} \quad \text{B.3}$$

que, alterando los índices correspondientes, pueden modificarse de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{a}^*) & - \sum K(I-M) & I=J \text{ a } J+M-1 \\ \text{b}^*) & \sum 2K(I) & I=J \text{ a } J+M-1 \\ \text{c}^*) & - \sum K(I+M) & I=J \text{ a } J+M-1 \end{aligned} \quad \text{B.4}$$

de donde se puede concluir que

$$Kon(J) = \sum [-K(I-M) + 2K(I) - K(I+M)] \quad I=J \text{ a } J+M-1 \quad \text{B.5}$$

o bien

$$Kon(J) = \sum [(K(I) - K(I-M)) - (K(I+M) - K(I))] \quad I=J \text{ a } J+M-1 \quad \text{B.6}$$

A P E N D I C E C

DESARROLLO ALGEBRAICO DE LAS
FORMULAS PARA AJUSTE DE PICOS

$$H^* = H + dd'/d'y - Hyy'H/y'Hy \quad C.1$$

$$H^* = H - dy'H/d'y - Hyd'/d'y + (1 + y'Hy/d'y)dd'/d'y \quad C.2$$

Para una mayor claridad de estos desarrollos se hará uso de la siguiente notación:

- | > : Representa un vector columna.
- < | : Representa un vector renglón.
- { } : Representa una matriz.

Además se utilizará la convención de Einstein, en la que dos subíndices repetidos significan una suma sobre ellos.

Con todo lo anterior podemos encontrar los siguientes resultados:

- a) |a><b| = {a(i)b(j)} Componente i, j de una matriz.
- b) <a|b> = a(i)b(i) Escalar (suma sobre i).
- c) <H(i, j)>|a> = |H(i, j)a(j)> Componente i-ésima de un vector columna.
- d) <a|<H(i, j)> = <a(i)H(i, j)| Componente j-ésima de un vector renglón.
- e) <H(i, j)><M(k, l)> = <H(i, j)M(j, l)> Componente i, l de una matriz.

Con estos resultados, las formulas 1 y 2 pueden reescribirse como:

$$\langle H^* \rangle = \langle H \rangle + |d\rangle \langle d| / \langle d|y \rangle - \langle H \rangle |y\rangle \langle y| \langle H \rangle / \langle y|H|y \rangle \quad C.3$$

$$\langle H^* \rangle = \langle H \rangle - |d\rangle \langle y| \langle H \rangle / \langle d|y \rangle - \langle H \rangle |y\rangle \langle d| / \langle d|y \rangle$$

$$+ (1 + \langle y| \langle H \rangle |y \rangle / \langle d|y \rangle) |d\rangle \langle d| / \langle d|y \rangle \quad C.4$$

Ahora, de a), b), c), d) y e), se encuentra que

$$|d\rangle \langle d| = \{d(i)d(j)\} \quad C.5$$

$$\langle d|y \rangle = d(i)y(i) \quad C.6$$

$$\langle y| \langle H \rangle |y \rangle = \langle y|H(i, j)y(j)\rangle$$

$$= y(i)H(i, j)y(j) \quad C.7$$

$$\begin{aligned}
 \langle H \rangle |y\rangle \langle y| \langle H \rangle &= \langle H \rangle |y\rangle \langle y(i) H(i, j) | \\
 &= \langle H \rangle \langle y(k) y(m) H(m, j) \rangle \\
 &= \langle H(i, k) y(k) y(m) H(m, j) \rangle
 \end{aligned}
 \tag{C.8}$$

$$\begin{aligned}
 |d\rangle \langle y| \langle H \rangle &= |d\rangle \langle y(i) H(i, j) | \\
 &= \langle d(i) y(k) H(k, j) \rangle
 \end{aligned}
 \tag{C.9}$$

$$\begin{aligned}
 \langle H \rangle |y\rangle \langle d| &= \langle H \rangle \langle y(i) d(j) \rangle \\
 &= \langle H(i, k) y(k) d(j) \rangle
 \end{aligned}
 \tag{C.10}$$

y por lo tanto, las ecuaciones quedarán como:

$$\begin{aligned}
 \langle H(i, j) * \rangle &= \langle H(i, j) \rangle + \langle d(i) d(j) \rangle / d(k) y(k) \\
 &\quad - \langle H(i, k) y(k) y(m) H(m, j) \rangle / y(k) H(k, l) y(l)
 \end{aligned}
 \tag{C.11}$$

$$\begin{aligned}
 \langle H(i, j) * \rangle &= \langle H(i, j) \rangle - \langle d(i) y(k) H(k, j) \rangle / d(k) y(k) \\
 &\quad - \langle H(i, k) y(k) d(j) \rangle / d(k) y(k) \\
 &\quad + \langle d(i) d(j) \rangle [1 + y(k) H(k, j) y(l) / d(k) y(k)] / d(k) y(k)
 \end{aligned}
 \tag{C.12}$$

que son las expresiones finales usadas en el programa de ajuste.

A P E N D I C E D

AJUSTE DE DATOS A UNA LINEA RECTA

La estimación estadística de las variables que parametrizan una recta queda completamente definida cuando se conocen los valores "a" y "b" de la ecuación:

$$Y = a + bX(i) \quad D.1$$

Para ello, se supondrá que se han realizado n observaciones experimentales $Y'(i)$, lo que permite definir la función $F(a,b)$ de la siguiente manera

$$F(a,b) = \sum_{i=1}^n [Y'(i) - (a+bX(i))]^2 \quad D.2$$

cuya mejor estimación de "a" y "b" se obtiene cuando $F(a,b)$ es un mínimo, lo cual ocurre si

$$\text{grad } F = (0,0) \quad D.3$$

derivando con respecto a "a" y "b" respectivamente.

Desarrollando, se tendrá lo siguiente:

$$\frac{\partial F}{\partial a} = -2\sum Y'(i) + 2\sum a + 2\sum bX(i) \quad i=1 \text{ a } n \quad D.4$$

$$= 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial b} = 2\sum (X(i)Y'(i) - aX(i) - bX(i)^2) \quad i=1 \text{ a } n \quad D.5$$

$$= 0$$

de donde se obtiene el sistema de ecuaciones:

$$\sum Y'(i) = na + b\sum X(i) \quad D.6$$

$$\sum X(i)Y'(i) = a\sum X(i) + b\sum X(i)^2 \quad i=1 \text{ a } n \quad D.7$$

que por medio de determinantes puede encontrarse que

$$b = \frac{[n\sum X(i)Y'(i) - \sum X(i)\sum Y'(i)]}{[n\sum X(i)^2 - \sum X(i)\sum X(i)]} \quad D.8$$

y si se define como

$$\bar{X} = \sum X(i)/n \quad \text{y} \quad \bar{Y} = \sum Y'(i)/n \quad i=1 \text{ a } n \quad D.9$$

entonces D.7 pasa a convertirse en

$$b = \frac{[\sum X(i)Y(i)/n - \bar{X}\bar{Y}]}{[\sum X(i)X(i)/n - (\bar{X})^2]} \quad \text{D.10}$$

para $i=1$ a n

y despejando "a" en D.6a, se tendrá que

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad \text{D.11}$$

lo cual resuelve el problema.

A P E N D I C E E

AJUSTE DE DATOS A UNA PARABOLA

La estimación estadística del parámetro "a" que determina la parábola

$$Y(i) = -a(X(i) - X^{\sim})^2 + b \quad E.1$$

se obtiene cuando se calcula el mínimo de la función

$$F(a) = \sum [Y_e(i) - (-a(X(i) - X^{\sim})^2 + b)]^2 \quad i=1 \text{ a } n \quad E.2$$

en donde $Y_e(i)$ son las n observaciones experimentales que se considerarán en el análisis, $X(i)$ es el número de canal correspondiente y X^{\sim} la posición central del pico por ajustar.

El mínimo valor de la función $F(a)$ se obtiene al resolver la siguiente ecuación:

$$dF(a)/da = 4 \sum [Y_e(i) + a(X(i) - X^{\sim})^2 - b][X(i) - X^{\sim}] = 0 \quad E.3$$

y por lo tanto

$$a = - \sum [Y_e(i) - b] / \sum [X(i) - X^{\sim}]^2 \quad i=1 \text{ a } n \quad E.4$$

lo que resuelve el problema.

A P E N D I C E F

CODIGO DE CARACTERES ASCII

000	CTRL-@	033	!	066	B	099	c
001	CTRL-A	034	"	067	C		
002	CTRL-B			068	D	100	d
003	CTRL-C	035	#	069	E	101	e
004	CTRL-D	036	\$			102	f
		037	%	070	F	103	g
005	CTRL-E	038	&	071	G	104	h
006	CTRL-F	039	'	072	H		
007	CTRL-G			073	I	105	i
008	BS	040	(074	J	106	j
009	HOR. TAB.	041)			107	k
		042	*	075	K	108	l
010	LINE FEED	043	+	076	L	109	m
011	VERT. TAB.	044	,	077	M		
012	FF			078	N	110	n
013	CR	045	-	079	O	111	o
014	CTRL-N	046	.			112	p
		047	/	080	P	113	q
015	CTRL-O	048	0	081	Q	114	r
016	CTRL-P	049	1	082	R		
017	CTRL-Q			083	S	115	s
018	CTRL-R	050	2	084	T	116	t
019	CTRL-S	051	3			117	u
		052	4	085	U	118	v
020	CTRL-T	053	5	086	V	119	w
021	CTRL-U	054	6	087	W		
022	CTRL-V			088	X	120	x
023	CTRL-W	055	7	089	Y	121	y
024	CTRL-X	056	8			122	z
		057	9	090	Z	123	{
025	CTRL-Y	058	:	091	[124	
026	CTRL-Z	059	;	092	\		
027	CTRL-[093]	125	}
028	CTRL-\	060	<	094		126	~
029	CTRL-]	061	=			127	DEL
		062	>	095	-		
030	CTRL-	063	?	096	*		
031	CTRL-_	064	@	097	a		
032	SPACE	065	A	098	b		

CTRL=Caracter de control
CR=Carriage Return
DEL=Rubout

BS=Backspace
FF=Form Feed