



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**ADQUISICION AUTOMATICA DE IMAGENES
DE MICROSCOPIO ELECTRONICO Y SU
PROCESAMIENTO DIGITAL**

**POR ;
JORGE PRADO MOLINA**

**LABORATORIO DE MICROMECHANICA DE SOLIDOS
INSTITUTO DE INGENIERIA
U.N.A.M. MEXICO, D. F. 1983**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

ADQUISICION AUTOMATICA DE IMAGENES DE MICROS
COPIO ELECTRONICO Y SU PROCESAMIENTO DIGITAL

POR

JORGE PRADO MOLINA

TESIS SOMETIDA A LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD
NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO COMO REQUERIMIENTO PARCIAL PARA
LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA.

LABORATORIO DE MICROMECHANICA DE SOLIDOS
INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM
MEXICO, D.F.
ABRIL, 1983

I N D I C E

RESUMEN

AGRADECIMIENTO

CAPITULO I.	INTRODUCCION	1
1.1	<i>Introducción</i>	1
1.2	<i>Microscopía Electrónica de barrido</i>	2
1.3	<i>Procesamiento Digital de Imágenes</i>	4
CAPITULO II.	EQUIPO ELECTRONICO EXPERIMENTAL	7
2.1	<i>Introducción</i>	7
2.2	<i>Microscopio Electrónico</i>	7
2.3	<i>Espectrómetro de Rayos-x</i>	9
2.4	<i>Equipo de Procesamiento</i>	12
2.5	<i>Interfaz Microscopio-Microcomputadora Espectrómetro</i>	12
2.6	<i>Monitor de Despliegue</i>	17
CAPITULO III.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	18
3.1	<i>Introducción</i>	18
3.2	<i>Adquisición Automática de Imágenes</i>	18
3.2.1	<i>Imágenes de Electrones secundarios</i>	19
3.2.2	<i>Imágenes de Electrones Retrodispersos</i>	21
3.2.3	<i>Imágenes de Rayos-x</i>	22

3.3	<i>Almacenamiento de Imágenes</i>	23
3.4	<i>Procesamiento Digital</i>	25
3.4.1	<i>Mejoramiento de Contraste</i>	26
3.4.2	<i>Operaciones Algebraicas</i>	27
3.4.3	<i>Histograma de Tonos</i>	30
3.5	<i>Programa de Barrido y Adquisición</i>	32
CAPITULO IV. DISCUSION DE RESULTADOS		37
4.1	<i>Introducción</i>	37
4.2	<i>Mapeos Multielementales de rayos-x</i>	37
4.3	<i>Cuantificación de rasgos</i>	40
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		43
APENDICE		47

RESUMEN

Esta tesis trata sobre la aplicación de técnicas de procesamiento digital a imágenes generadas en un Microscopio Electrónico de Barrido.

Se describe el diseño, construcción y verificación de la interfaz que vincula el microscopio a una microcomputadora, así como el proceso de adquisición y extracción de información de dichas imágenes.

Se ilustran además las ventajas de procesar imágenes microscópicas con una serie de ejemplos de problemas prácticos, y se incluyen los programas desarrollados para el manejo de datos.

AGRADECIMIENTO

El autor de esta tesis expresa su reconocimiento y gratitud, por la confianza manifestada a lo largo de su desarrollo y por el estímulo, crítica y apoyo en la redacción al Dr. Ricardo Peralta y Fabí.

Se agradece de igual manera, al área de Geotecnia del Instituto de Ingeniería, UNAM, el apoyo en forma de beca y acceso a instalaciones. Asimismo a los ingenieros Guillermo Hernández García y Esaú Vicente Vivas, sus valiosos consejos. Se agradece además, la cuidadosa revisión de este trabajo realizada por el Ing. Roberto Macías Pérez, codirector de esta tesis.

CAPITULO I. INTRODUCCION

1.1 *Introducción*

Es común en investigaciones experimentales la adquisición de gran cantidad de datos que requieran su posterior procesamiento y asimilación. Cuando los datos obtenidos toman la forma de imágenes, se encuentra uno ante la disyuntiva de derivar opiniones cualitativas de lo que se observa en las imágenes, o diseñar métodos para extraer los datos esenciales de una serie de imágenes y construir información cuantitativa, que refleje el comportamiento del fenómeno en estudio.

Cuando las imágenes obtenidas de un experimento presentan similitudes importantes, es de particular significación el

diseñar métodos objetivos de diferenciación. Como es bien sabido, los microscopios ceden una gran cantidad de imágenes por lo que en los años recientes han aumentado sensiblemente los esfuerzos por aplicar técnicas de procesamiento digital de imágenes de Microscopio Electrónico de Barrido (MEB).

El experimento para el cual fue desarrollado este sistema automático estudia las características microestructurales de los suelos arcillosos. Estos presentan variaciones poco notables en cuanto a acomodamientos (microdesplazamientos) durante el proceso deformativo de un espécimen sometido a carga. Por otro lado, en ocasiones las variaciones más observables se relacionan con su composición mineralógica, por lo que, para seguir su respuesta mecánica puede ser más conveniente establecer el movimiento relativo de algún mineral constituyente, que intentar evaluar el desplazamiento en base al movimiento de partículas de formas tan similares.

1.2 Microscopía Electrónica de Barrido

Debido a la relación que este trabajo mantiene con la microscopía electrónica, se hará una breve descripción del equipo que, en caso de ser necesario, se ampliará en diferentes partes de este escrito.

Esencialmente el microscopio electrónico consta de dos partes: una pantalla de rayos catódicos, donde se observan las imágenes y una cámara al vacío donde se encuentra la muestra. Esta última parte, se compone por una columna en cuyo extremo superior se generan los electrones por medio de un filamento incandescente. A lo largo de la columna funcionan una serie de lentes magnéticas (bobinas) que afocan el fino haz electrónico sobre la muestra en el otro extremo. En la columna se encuentran también dos pares de bobinas de deflexión capaces de efectuar un movimiento de barrido en forma similar al que realiza una persona cuando lee todas las palabras de una línea y todas las líneas de una página. En sincronía con este barrido (de aquí el nombre de MEB) el haz de la pantalla del microscopio recorre las mismas posiciones en el mismo tiempo.

La formación de la imagen se realiza en base a la siguiente interacción: el haz electrónico genera emisiones de los llamados electrones secundarios al incidir sobre la capa superficial de la muestra. Dependiendo principalmente de la topografía y del ángulo de ataque, la muestra producirá más o menos electrones secundarios, que son capturados por un detector. Este detector convierte la cantidad de electrones a una cantidad de intensidad de corriente ó brillo. Al desplazarse el haz a través de la muestra genera diferentes valores de inten

alidad que refleja la diferente topografía encontrada por éste. Una imagen de microscopio electrónico es, de manera similar a una imagen televisiva, una colección de líneas cuya intensidad varía de punto a punto. Esto es, la imagen esta formada por una matriz de puntos o pequeñas áreas de luz y sombra.

La señal de intensidad proveniente del detector es amplificada y puede ser ajustada electrónicamente en cuanto a contraste y brillo. Es esta última señal la que es alimentada al cañón de la pantalla del microscopio para producir una representación visual de la interacción entre el haz y la muestra.

En la fig 1 se muestra un diagrama general de las funciones aquí descritas.

1.3 Procesamiento Digital de Imágenes

Como se mencionó en la sección anterior uno de los objetivos más importantes de este estudio es la extracción de información cuantitativa de una serie de imágenes microscópicas.

El procesamiento digital de imágenes es una técnica relativa mente reciente comparada con el tiempo que el hombre lleva analizando imágenes; este campo combina técnicas de óptica,

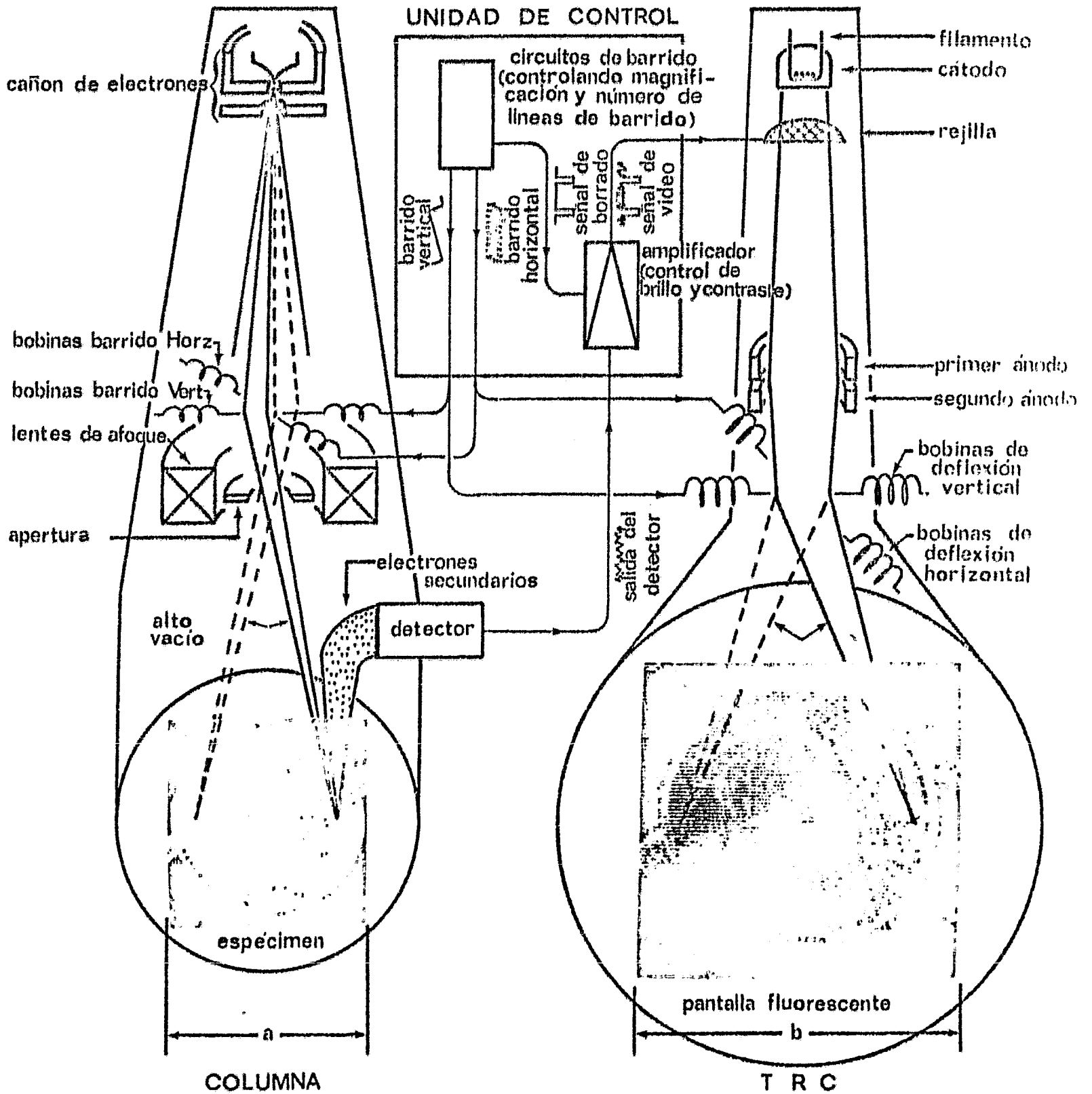


FIG. 1 Diagrama general del sistema de barrido sincrónico y formación de la imagen en el M E B.

electrónica, matemáticas, fotografía y computación. (Ver por ejemplo CASTLEMAN Ref 1) a través de este texto se tratarán de utilizar los términos más aceptados de esta nueva tecnología.

La posibilidad de analizar una imagen con una computadora es triba en la conversión de señales analógicas de tonos de gris que componen la imágen, a valores discretos fácilmente manejables en forma digital, es decir, adjudicando por ejemplo el valor cero al negro y 16 ó 64 al tono más brillante teniendo una serie de valores enteros intermedios. De este modo una imagen se concibe directamente como una matriz numérica susceptible a ser operada con el álgebra matricial convencional.

No es difícil imaginar la facilidad con que se pueden ejecutar las operaciones de suma y resta de imágenes (punto a punto) ó el promedio de una serie de ellas para disminuir ruido aleatorio, en adición a toda una serie de operaciones más complejas que serán descritas posteriormente.

En nuestro caso las imágenes se digitan con una resolución de 256 renglones x 256 çolumnas con la capacidad de expresar cada elemento de la imagen, conocidos como pixeles (de la contracción de las palabras inglesas Picture-Element) con 16 diferenciación

tes tonos de gris ó 16 colores.

En el siguiente capítulo se presenta una descripción detallada del equipo utilizado en este estudio.

CAPITULO II. EQUIPO ELECTRONICO EXPERIMENTAL

2.1 *Introducción*

Dado que el laboratorio de Micromecánica de Sólidos está orientado hacia el estudio de la microestructura de materiales complejos, se cuenta por una lado con un microscopio electrónico para la observación, y en nuestro caso la cuantificación de fenómenos en la escala de las micras. Además, a este equipo se le ha añadido una consola de rayos-X para determinar la composición elemental de los materiales observados. Por las mismas razones y por las necesidades de automatización de procesos delicados se cuenta con una microcomputadora para realizar los controles y cálculos pertinentes. Esta cuenta con el equipo periférico convencional en este caso. A continuación se realiza una descripción detallada de los componentes de mayor relevancia para nuestros propósitos.

2.2 *Microscopio Electrónico*

Un microscopio electrónico de barrido permite la observación

de prácticamente cualquier sólido entre 10 y 60 000 ó 70 000 aumentos. Su principal virtud en relación a equipos ópticos es la presencia de dos órdenes de magnitud en cuanto a profundidad de campo. Además, el solo hecho de irradiar una muestra con electrones, genera toda una serie de señales que permiten una caracterización de la muestra en cuanto a composición, distribución elemental y propiedades superficiales. (Para el lector interesado en microscopía electrónica analítica, se recomienda el excelente libro Goldstein et al. ref 2).

Estos equipos son evidentemente un diseño de aplicación general o multidisciplinario, por lo que para su uso especializado es necesario modificar su funcionamiento de manera variada. En nuestro caso, algunas de las modificaciones pueden ser adquiridas en casas comerciales, de hecho la modificación más importante es parcialmente ofrecida desde hace dos meses como una opción con un costo aproximado del 50% del costo original del equipo. Sin embargo fue comenzado el desarrollo de esta opción en el laboratorio, de 7 meses a la fecha, con los resultados esperados y a un costo considerablemente menor.

Las modificaciones que han posibilitado la adaptación de este equipo a nuestras muy particulares necesidades, se relacionan principalmente con el manejo de las bobinas de barrido y con la extracción de la señal de video del MEB para vincularlo di

rectamente al equipo de cómputo existente.

Principalmente se realiza procesamiento de imágenes generadas por electrones secundarios, electrones retrodispersos y rayos-X característicos. Más adelante se detallarán las ventajas de los diversos tipos de imagen, así como su utilización dentro de esta investigación.

2.3 Espectrómetro de Rayos-X

Según se menciona en la introducción, entre los tipos más interesantes de imágenes que produce el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) están aquellas generadas en base a la emisión de rayos-X resultantes de la irradiación electrónica.

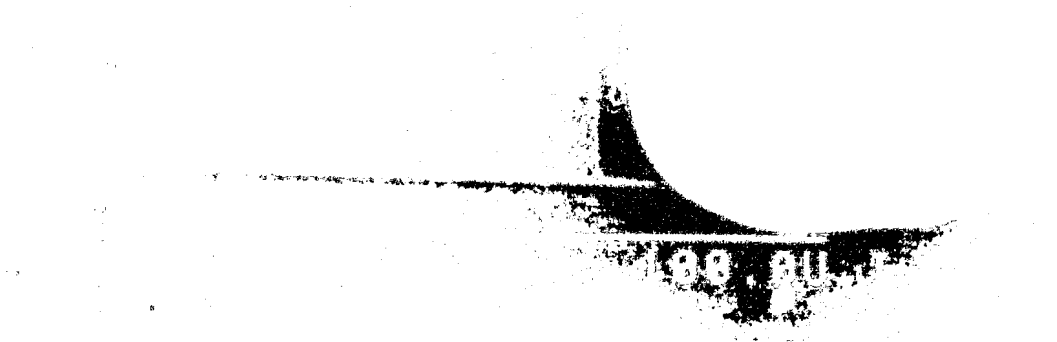
Algunos electrones de las capas internas del átomo son removidos durante la irradiación, por esto los electrones de las capas externas tratan de llenar los huecos dejados para regresar al equilibrio electrónico del átomo, esto genera emisión de fotones en el rango de los rayos-X, y reciben el nombre de rayos-X característicos, porque la energía de cada fotón depende del elemento químico que lo emite. Al ser posible clasificar fotones en cuanto a energía, es posible caracterizar los elementos presentes en una muestra.

Los rayos-X emitidos inciden sobre un detector a base de un monocristal de silicio dotado con una cantidad controlada de átomos de litio por medio de implantación iónica. Frente al detector se encuentra una ventana de berilio que actúa a su vez de encapsulado del ultra alto vacío (1.3×10^{-6} Pa) necesario para el funcionamiento adecuado del detector.

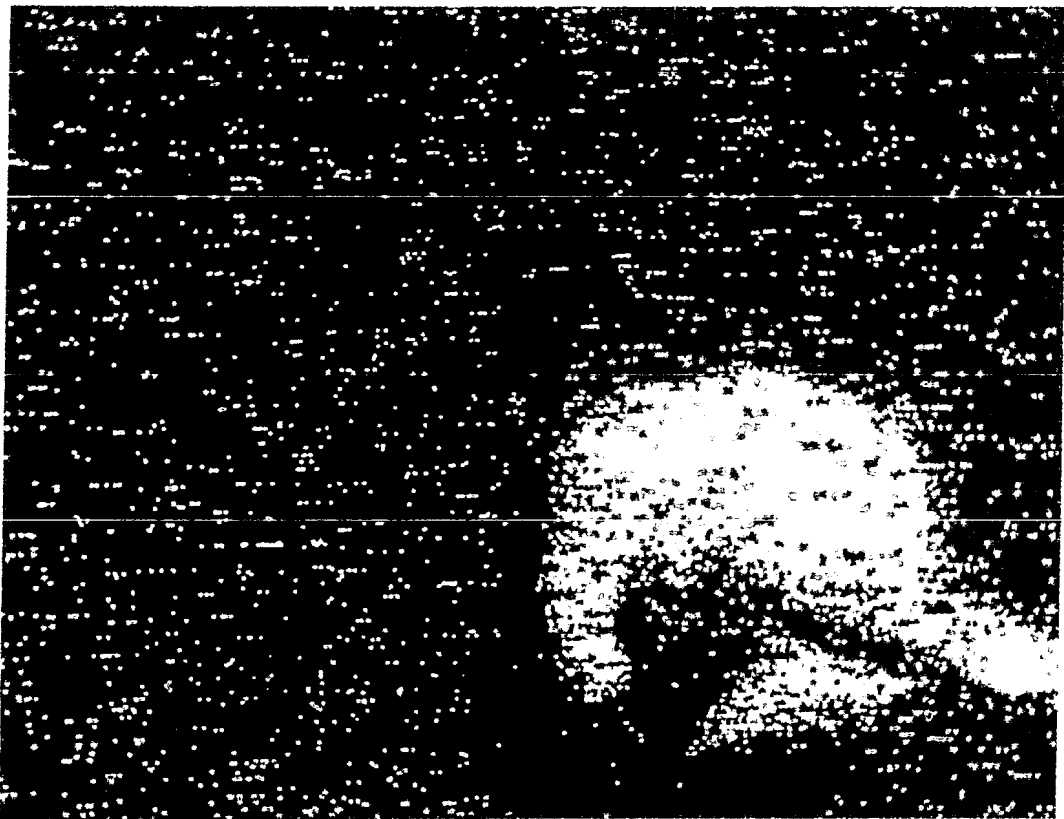
Debido a los materiales utilizados en la detección de rayos-X estos detectores no perciben fotones en la vecindad de sus números atómicos por lo que funcionan principalmente desde el sodio (No. atómico 11) en adelante, sin embargo en los estudios que se realizan esto no es una limitante grave.

El vínculo entre el espectrómetro y el microscopio permite caracterizar físicamente los materiales cuyas imágenes se observan. Además en las zonas donde se localiza algún elemento en particular se puede sustituir la imagen convencional (de electrones secundarios) por una serie de puntos brillantes que localizan en el campo visual la posición del elemento en cuestión.

En la fig 2 se observa un ejemplo de esta localización elemental.



G 2 a) Micrografía de un circuito integrado obtenida a partir de electrones secundarios



b) Mapeo de rayos-x. Los puntos brillantes señalan la presencia del elemento oro

2.4 Equipo de Procesamiento

El sistema microcomputarizado utilizando en esta investigación está basado en el microprocesador Z80 y maneja la configuración del estándar industrial conocido como S-100. Cuenta con dos unidades de discos flexibles con 780 kb de capacidad de memoria, así como un disco duro de 11 Mb. La memoria interna cuenta con 64 Kb y está equipado con lenguajes de alto nivel estructurados como FORTRAN, MACROENSAMBLADOR y BASIC. Cuenta con dos tarjetas para digitación de imágenes de video, una de ellas siendo la memoria de despliegue y refrescamiento.

Existe también una unidad para entrada y salida de datos analógicos y digitales con puertos en paralelo y en serie por medio de la cual se mandan y reciben señales del microscopio y del espectrómetro.

El sistema está equipado con una terminal de video, una impresora de matriz y un monitor RGB. (Red=rojo, Green=verde, Blue=azul).

2.5 Interfaz Microscopio-Microcomputadora-Espectrómetro

Uno de los aspectos centrales de esta investigación fue el diseño, construcción y verificación de un circuito que permite

la intercomunicación entre la computadora, el MEB y el espectrómetro.

Este circuito posibilita la modificación de las frecuencias de barrido a través de las bobinas de deflexión instaladas en la columna al vacío del Microscopio. El barrido convencional del MEB no utiliza frecuencias normalizadas de televisión lo cual impide acceder la señal de video interna y alimentarla a equipo televisivo convencional. En adición al control del barrido, la interfaz genera las señales de sincronía que mezcladas con la señal de video proveniente de un amplificador pueden ser directamente alimentadas a un monitor comercial. La señal generada es conocida como video compuesto y obedece a las especificaciones estándar de televisión. (30 imágenes por segundo, y 525 líneas por imagen).

Es necesario hacer notar que una vez generada una señal que se apega a la norma televisiva comercial, se puede alimentar ésta a equipos como videocinta; para almacenar gran cantidad de imágenes, a monitores remotos a través de cableado, o a las tarjetas de digitación para su posterior almacenamiento en equipo de cómputo.

En la fig 3 se presenta un diagrama que esquematiza la interfaz y sus conexiones. En esta figura se puede observar que en

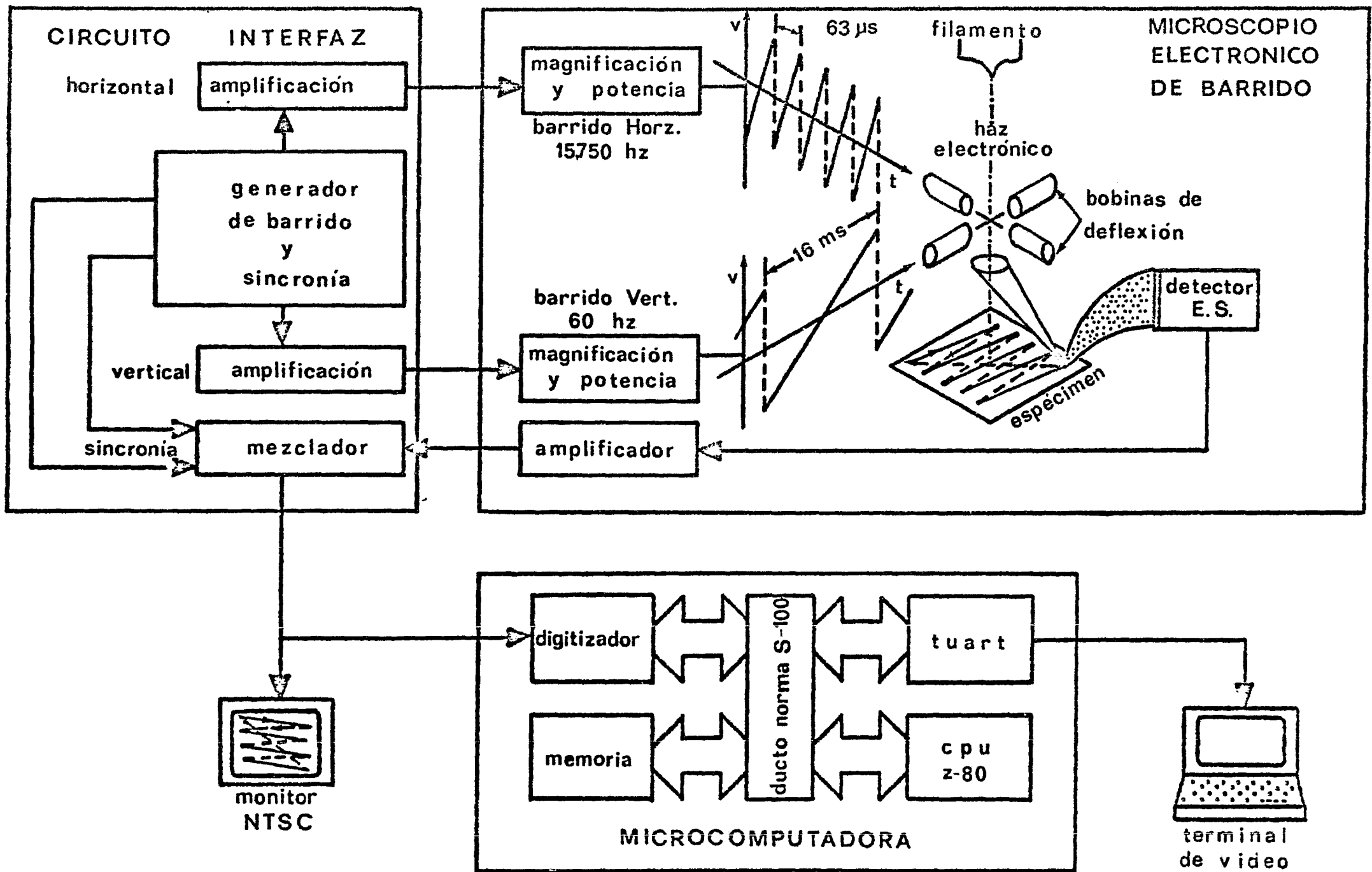
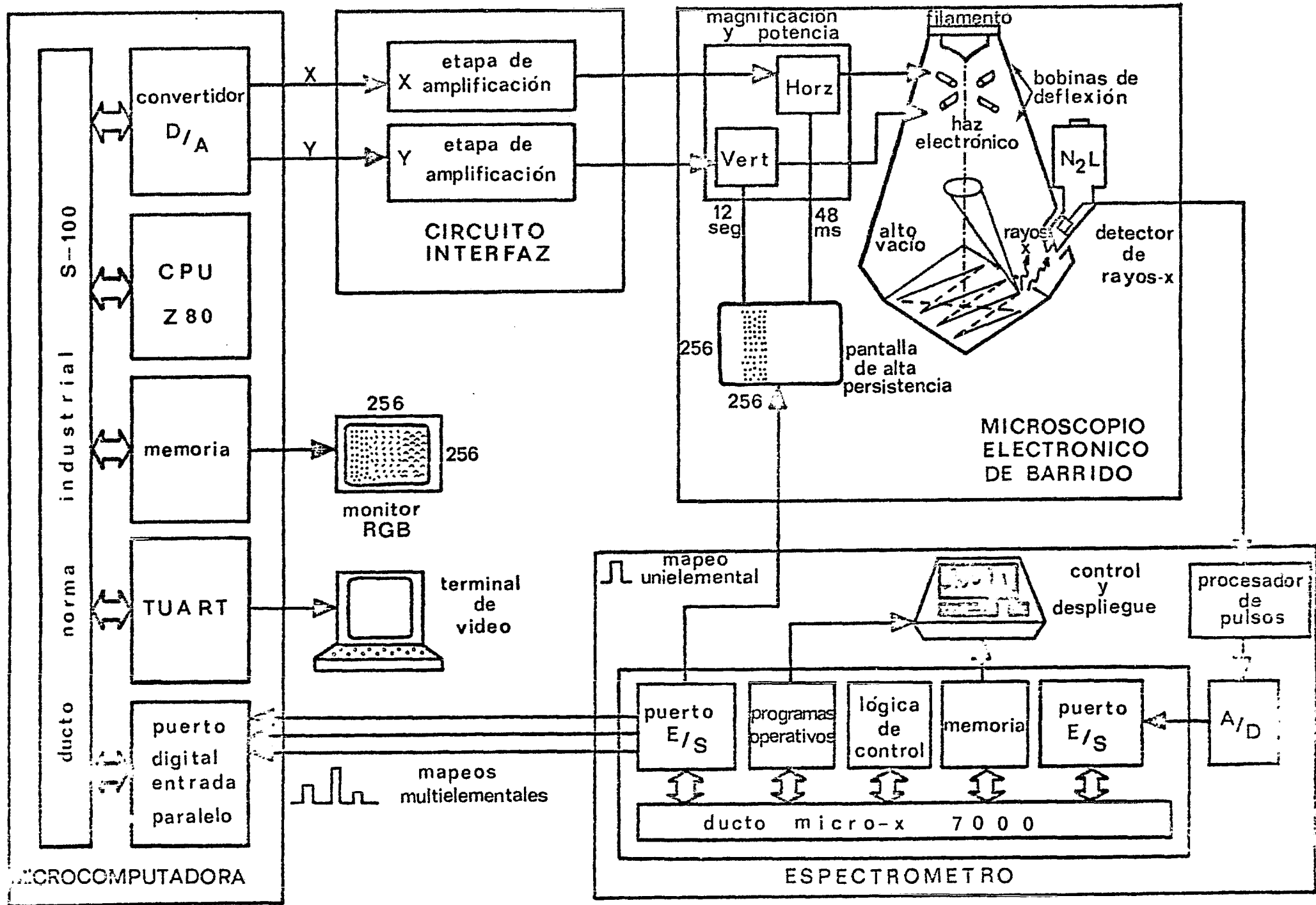


FIG.3 a) Diagrama de bloques de la interfaz microscopio-microcomputadora



b). Diagrama de bloques de la interfaz
microscopio - espectrometro - microcomputadora

en el caso de imágenes de rayos-X el barrido de la muestra se maneja a frecuencias considerablemente menores que el barrido televisivo normalizado, por lo que se encontró ventajoso el generar el barrido por medio de un programa que además, sincroniza el barrido y la adquisición de datos, éste actúa a través de la tarjeta de entrada y salida en el interior de la microcomputadora. Para este propósito el circuito interfaz actúa solo en su etapa de aislamiento y amplificación. Delegando la mayor parte del proceso automático de adquisición de la imagen a la microcomputadora.

En primera instancia el diseño de la interfaz se pensó basar en modelos comerciales. Más habiendo analizado el funcionamiento y posibilidades de éstos, se decidió que un diseño propio cumpliría con una adaptación más completa a nuestras necesidades.

Una de las características del circuito comercial consistía en desconectar toda una serie de módulos de control de magnificación, control de barrido e información alfanumérica de la pantalla al comenzar su funcionamiento. El diseño aquí descrito no influye en ninguna de estas operaciones importantes del equipo, permitiendo mantener operacional el resto de los módulos de control. Baste añadir como detalle el interés de los representantes de la compañía fabricante del microscopio de comprar el diseño realizado en el laboratorio.

2.6 *Monitor de Despliegue*

Con el objeto de controlar la cantidad de tonos y la resolu
ción de un monitor televisivo, se hace uso de un equipo co-
mercial, de tal manera modificado, que permite la alimenta-
ción simultánea de la señal de video a tres cañones indepen-
dientes. La dosificación de tonos de gris se logra directa-
mente con los controles de brillo y contraste; en el caso de
imágenes en color por medio de tres controles que modifican
la intensidad relativa de los tres colores fundamentales (Ro-
jo, Verde, Azul), logrando así una gran cantidad de colores
diferentes pero que en un momento dado suman siempre 16.

La resolución no es constante y depende de la cantidad de memo-
ria de refrescamiento del digitador. El monitor puede reci-
bir señales de video compuesto, ya sea de la memoria de re-
frescamiento o de una cámara de televisión.

Existen toda una serie de dispositivos de apoyo alrededor
del equipo descrito en este capítulo, sin embargo son de ca-
racter y uso convencional por lo que de ser necesario se in-
cluirán en descripciones posteriores. En el capítulo si-
guiente se da una descripción de los procedimiento experi-
mentales realizados para esta investigación.

CAPITULO III. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1 Introducción

En capítulos anteriores se han delineado los sistemas utilizados para la adquisición, manejo y procesamiento de las imágenes provenientes del MEB. En este capítulo se intentará ilustrar el procedimiento experimental desarrollado.

Algunas de las descripciones serán apoyadas con diagramas de flujo y por fotografías cuando sea necesario.

3.2 Adquisición Automática de Imágenes

Desde la concepción de este proyecto se ha planteado que el sistema de adquisición de imágenes deba presentar al usuario un conjunto de posibilidades que a pesar de ser poderosas y complejas, sean de uso sencillo y rápido; esto con el objeto de dar el mayor uso posible a la circuitería y programas desarrollados.

La microscopía electrónica, cuando es combinada con espectrometría cobra una cierta complejidad en la operación del equipo, ya que hay una gran cantidad de controles en ambos equipos y es necesario mantener una comprensión continua sobre la interacción entre el haz y la muestra. Para lograr estos

objetivos se ha diseñado el módulo de interfaz con la menor cantidad de controles posibles. En la fig 4A se muestra una fotografía del módulo en su lugar de operación, mientras en la fig 4B se muestra una vista general en comparación con otro de los módulos de fábrica.

Para la adquisición automática de imágenes la operación del módulo dependerá del tipo de imagen a adquirir; en el caso de imágenes de electrones secundarios la interfaz opera con los barridos televisivos descritos, para rayos-X el barrido es generado por la computadora. Las imágenes de electrones retrodispersos se manejan esencialmente igual que los de rayos-X.

En las siguientes tres sub-secciones se discute en detalle la adquisición de estos diferentes tipos de imágenes.

3.2.1 Imágenes de electrones secundarios

En este método de operación se coloca el interruptor de la interfaz en la posición TV. Como recordará el lector en este caso se sustituye el barrido normalmente generado por el MEB, por el de barrido proveniente de la interfaz, que después de ser mezclado con las señales de sincronía apropiadas puede ser alimentado al monitor, a una videocinta para su almacenamiento o al digitador dentro de la microcomputadora para su almacenamiento y análisis.

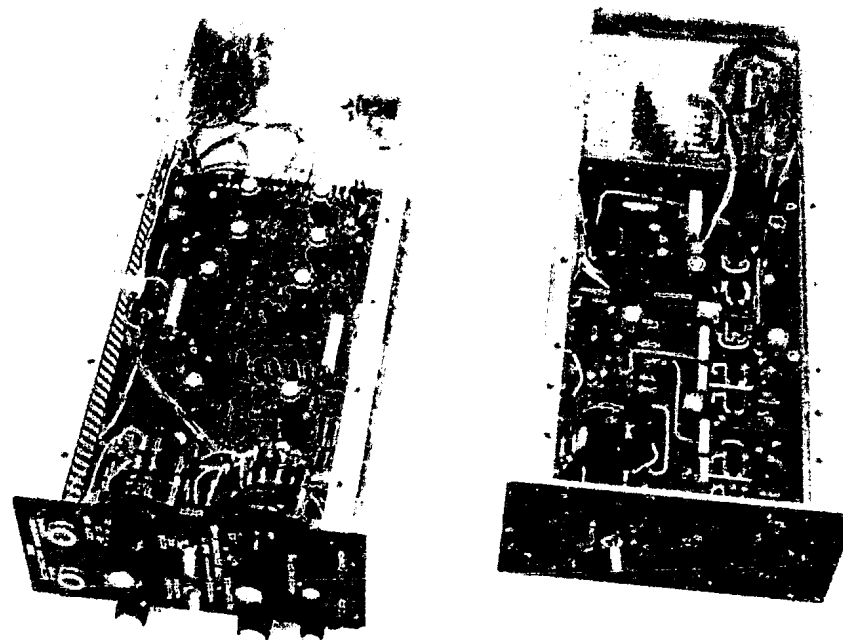
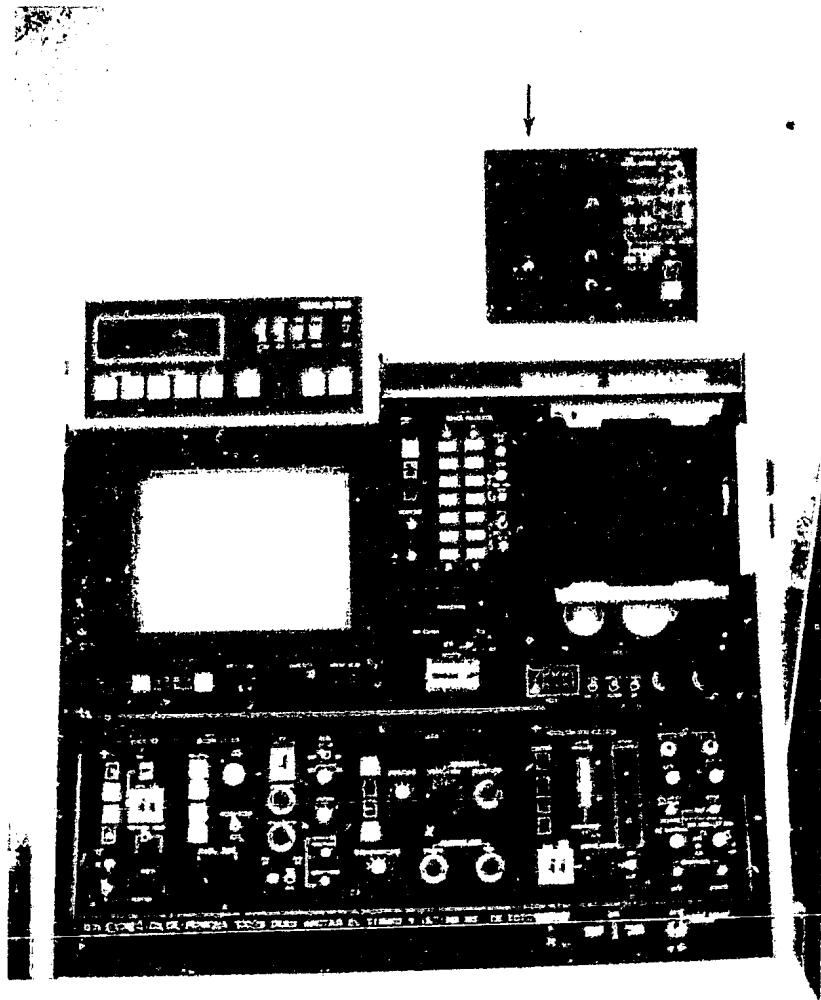


FIG. 4a).- Fotografía del módulo de interfaz en su lugar de operación.

4b).- Comparado con un módulo de fábrica.

Durante la incidencia de electrones sobre la muestra, los electrones secundarios se producen en gran abundancia por lo que a su vez son capaces de producir las imágenes más nítidas. Sin embargo estos electrones son de baja energía por lo que la formación de una imagen requiere que éstos sean acelerados hacia el detector utilizando un campo eléctrico. En operación convencional la adquisición de una imagen de secundarios requiere la intervención del proceso fotográfico para producir un registro permanente. Con el módulo interfaz se pueden adquirir directamente gran cantidad de imágenes para posteriormente seleccionar las más adecuadas para el análisis. Además de ser un considerable ahorro de tiempo, ahorra material fotográfico de costo relativamente alto.

3.2.2 Imágenes de electrones retrodispersos

A diferencia de las imágenes de electrones secundarios las imágenes de retrodispersos presentan diferente información. Como su nombre lo indica, la formación de imágenes se basa en la detección de aquellos electrones que por impactar núcleos atómicos se retrodispersan en todas direcciones. Para captar estos electrones se utiliza un detector de estado sólido colocado cercano a la salida de los electrones incidentes. Y no requieren de un campo eléctrico que los impulse hacia el detector ya que los electrones retrodispersos poseen energía suficiente para alcanzarlo.

La particularidad de los retrodispersos reside en su habilidad de variar su energía en relación al número atómico de los elementos químicos de la muestra irradiada, es decir, los electrones retrodispersan con mayor energía de los elementos con números atómicos altos y con menor energía de los números atómicos bajos. Observando una imagen generada con retrodispersos, la parte de la muestra con elementos pesados aparece más brillante que la zona con elementos ligeros. Los diferentes tonos posibilitan el diferenciar directamente zonas de un elemento químico de otras. Las mejores imágenes de retrodispersos se obtienen con barridos a bajas velocidades similares a las utilizadas en imágenes de rayos-X por lo que la adquisición de estas imágenes se realizan con un control de la microcomputadora de las bobinas de deflexión.

3.2.3 *Imágenes de rayos X*

El adjudicar a cada zona de una imagen microscópica un color que refleje el elemento presente es de gran utilidad en el estudio de materiales complejos. Como ha sido descrito en la sección 2.3 de esta tesis, los rayos-X característicos permiten la diferenciación de elementos químicos en un campo visual. Aún cuando se pueden utilizar datos de electrones retrodispersos para objetivos similares, la resolución de los rayos-X es significativamente mayor; por lo que esta investigación se ha

concentrado en lograr imágenes multielementales desplegadas con pseudocolor. Ver ref 3.

La adquisición automática de las imágenes de rayos-X se realiza a través de varias etapas: 1) Se habilita el puerto de entrada de la tarjeta de convertidores, este recibe impulsos directamente del espectrómetro en el caso de que el barrido se encuentre en una zona con el elemento seleccionado, 2) Los datos de entrada se colocan en un banco de memoria con la misma capacidad de la memoria del digitador, 3) Cuando el barrido ha concluido un cuadro completo se habilita una transferencia de datos del banco de memoria interna, al banco de memoria del digitador, 4) Este despliega su contenido en el monitor RGB y se encarga de su refrescamiento.

3,3 Almacenamiento de imágenes

Las imágenes obtenidas con un MEB suelen almacenarse en forma fotográfica. En base a la necesidad de gran cantidad de imágenes para caracterizar la exploración de una muestra, el proceso de almacenamiento fotográfico resulta relativamente caro y particularmente caro en la situación actual. El almacenamiento digital por otro lado, puede ser realizado a un costo incomparablemente bajo cuando se cuenta con el equipo necesario. En vista de que la gran mayoría de los equipos utilizados en esta investigación habían sido adquiridos con otros propósitos espe

cíficos, la decisión de intentar almacenamiento digital resulta ahorrativa en nuestro caso.

Se puede argumentar que una fotografía supera en resolución a las imágenes digitales convencionales. Sin embargo en el caso específico de micrografías, es importante recordar que al tener un control directo sobre la magnificación de las imágenes observadas, se puede compensar la resolución de una fotografía con el archivo de varias imágenes, a menor resolución, que en caso de ser promediadas pueden proporcionar la resolución adecuada.

La forma más directa para almacenar imágenes en este sistema, es vía interfaz-digitador-disco flexible o duro. A pesar de esta posibilidad inmediata se considera más efectivo almacenar imágenes en cintas de grabadoras de video domésticas a un costo muy inferior a todas las demás alternativas.

El autor participa con el personal del Laboratorio de Micro-mecánica en la realización de un proyecto en esta dirección. Este método de almacenamiento convierte las imágenes de 1 024 puntos x 512 líneas con 16 ó 64 tonos y que en adición está equipado con un sistema automático de búsqueda de imágenes.

Por lo pronto las imágenes pueden ser almacenadas en el disco

duro con tiempos de recuperación menores a 10 segundos.

3.4 *Procesamiento digital*

Existen una serie de operaciones encaminadas hacia el mejora miento de las características de una imagen. Esta tecnología, surge de los programas espaciales de percepción remota, y de las técnicas de fotogrametría. En estas fechas el procesamien to digital de imágenes abarca amplias zonas de la ingeniería, medicina, demografía, etc. En la referencia dada al inicio de este trabajo se pueden estudiar toda una gama de opciones para aplicación de esta técnica a gran variedad de problemas.

Es necesario hacer una distinción entre la utilización de una computadora de uso general y la implementación de programas para manejo de imágenes. De hecho es indispensable desarrollar una serie de programas básicos relacionados a la manipulación de arreglos numéricos antes de intentar realizar operaciones con imágenes reales. Entre las operaciones más comunes están el adjudicar un valor base a toda una zona de memoria prede- terminada; el cuestionar el valor del tono en una cierta posi- ción XY; el someter a operaciones aritméticas lineales o no a la serie de elementos que forman la imagen. Todos estos pro- gramas fueron elaborados debido a que el sistema utilizado ca rece de programas de este tipo. También se puede mencio-

nar la necesidad de realizar histogramas de tonos, trazos de líneas, en algunos casos rotación de figuras y la generación de cursores.

La manipulación de imágenes implica la generación de programas principalmente basados en una amplia variedad de subrutinas.

Es interesante señalar que la mayoría de los programas para procesamiento digital de imágenes pueden ser utilizados también en la generación de gráficas en varios colores.

3.4.1 Mejoramiento de contraste

Las operaciones realizadas punto a punto en la matriz imagen consisten en una serie de técnicas sencillas pero muy importantes. Caracteriza a este tipo de operación la asignación de un nuevo valor de tono en el punto particular de la imagen.

Las condiciones de operación del microscopio llegan con frecuencia a límites físicos que no pueden ser rebasados por el equipo mismo. Esto cobra un significado particular en el caso de trabajo a grandes aumentos, en donde un aumento fino de contraste en el equipo disminuye drásticamente el cociente señal a ruido. Por otro lado es relativamente sencillo aumentar

el contraste en una imagen simultáneamente a una reducción del ruido que se forma, ya que estas dos señales son de frecuencias muy diferentes y mientras una es aleatoria la otra presenta tendencias claras. En la fig 5 se observa un ejemplo de mejoramiento de contraste.

3.4.2 Operaciones algebraicas

Con las operaciones algebraicas se pueden realizar también, mejoras en la calidad de imágenes. Por ejemplo el promedio de múltiples imágenes de la misma toma reduce los efectos del ruido aleatorio aditivo. Además se pueden incluir los rasgos de una imagen dentro de otra en el caso de sumar varias.

La resta de imágenes puede borrar patrones indeseables como sombras, ruido periódico y otro tipo de ruido que se sabe está en cada punto de la imagen como excesos de brillantez, etc. Con este tipo de operación se puede realizar una de las funciones más importantes dentro del campo de procesamiento de imágenes: se puede detectar el movimiento de algún rasgo en una secuencia de imágenes. En nuestro caso se utiliza para evaluar los microdesplazamientos de partículas durante pruebas de compresión de suelos. La fig 6 así como la ref 4 dan un ejemplo de este caso.

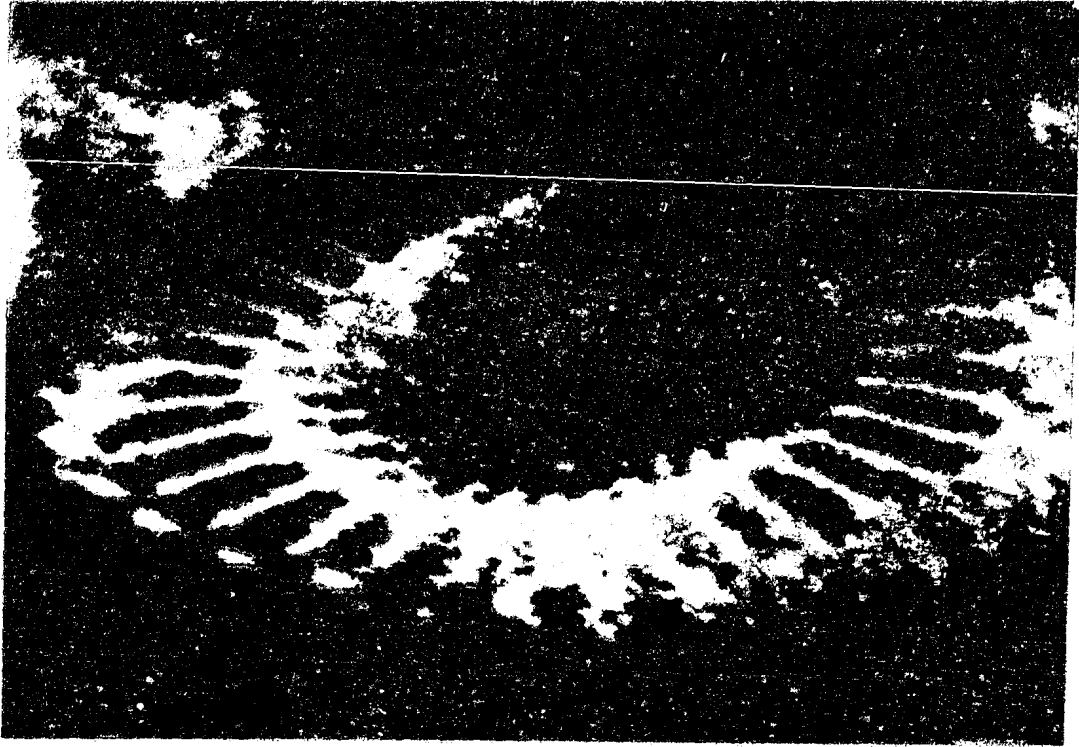
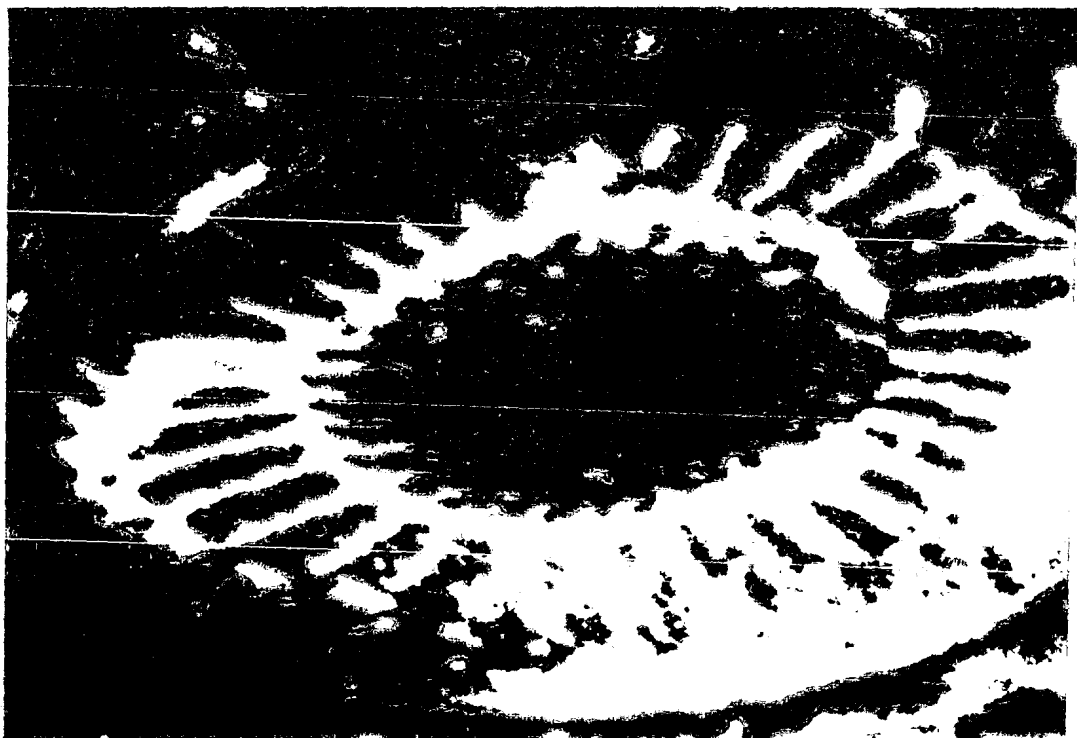


FIG. 5 a).- Fotografía de bajo contraste.



b).- Fotografía con mejoramiento de contraste.

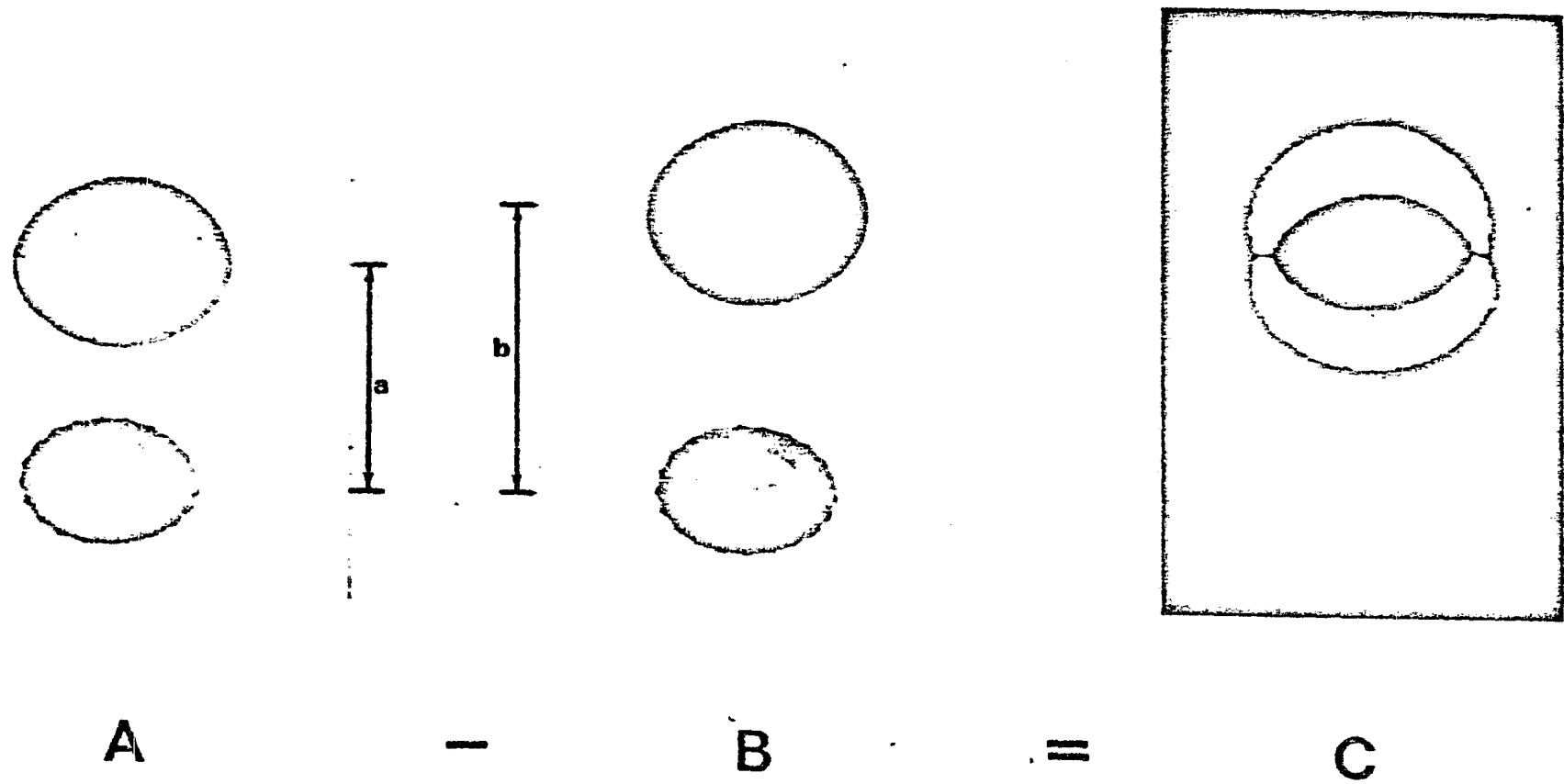


FIG. 6 Resta de imágenes. Esta operación permite evaluar el desplazamiento de partículas.

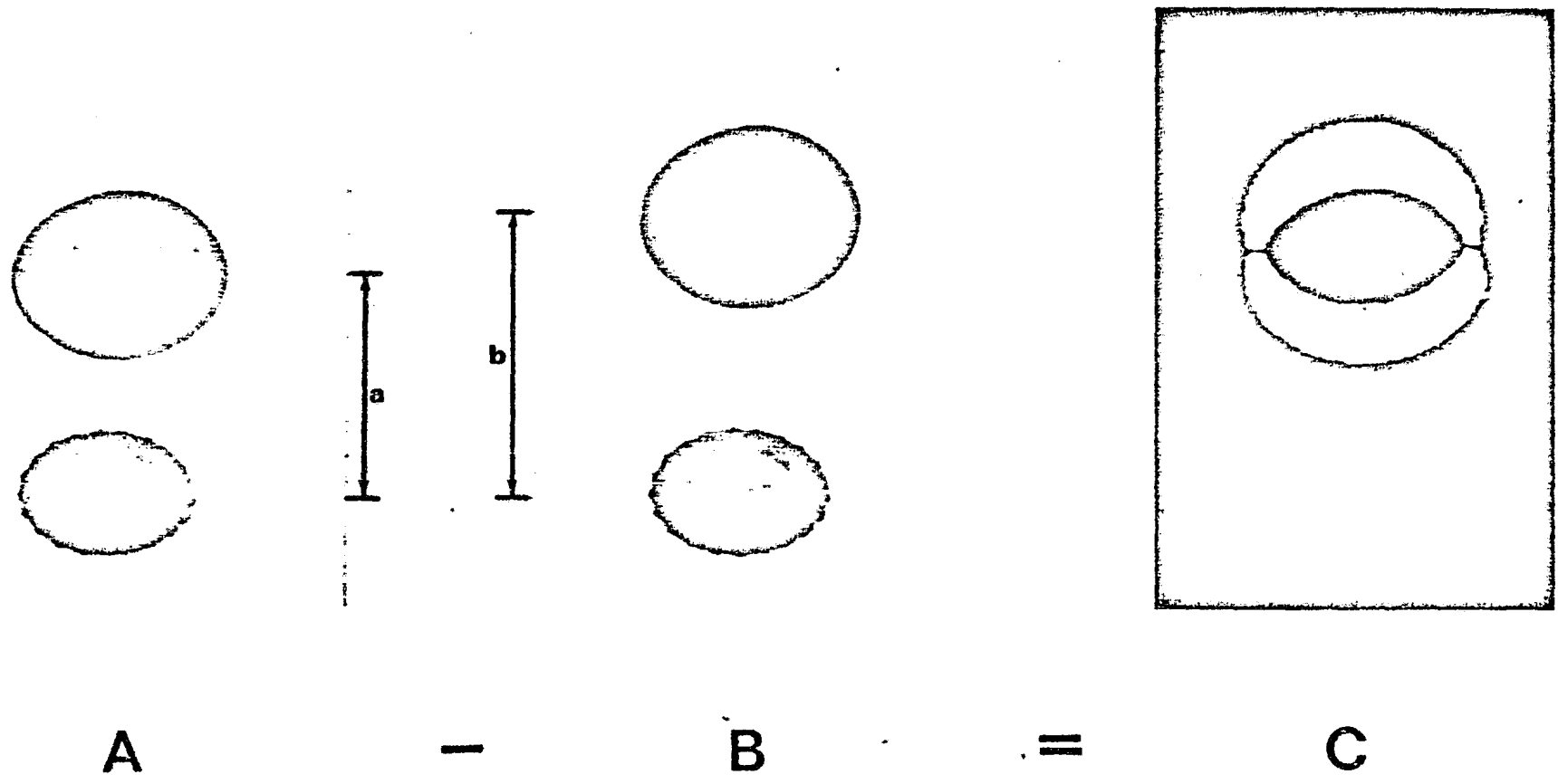


FIG. 6 Resta de imágenes. Esta operación permite evaluar el desplazamiento de partículas.

La resta de imágenes microscópicas implicaba la utilización del proceso fotográfico, el cual introducía una serie de imprecisiones debido a la dificultad de lograr distribución de contrastes idénticos. Con la utilización de la interfaz realizada, y objetivo central de este trabajo, es posible ajustar fácilmente el contraste de ambas imágenes y producir en una sola imagen el efecto que permite la evaluación de desplazamientos punto a punto.

3.4.3 Histogramas de tonos

Es frecuente requerir la distribución de tonos o colores presentes en una imagen observada. Esto en virtud de que los tonos, como se ha mencionado ya en varias ocasiones, pueden reflejar características esenciales de una imagen que se desee cuantificar en un campo visual dado. En la fig 7 se muestra una fotografía de alto contraste en donde la parte más oscura representa poros y la clara la estructura del material. Por medio de la formación de un histograma se puede obtener de inmediato la proporción de poros a área, para calcular por ejemplo, indicadores de porosidad.

Es necesario recordar al lector que en su mayoría los problemas atacados tienen la doble función de resolver un problema práctico, usualmente dentro de la mecánica de suelos, y de servir como formación en el uso de este tipo de técnicas.

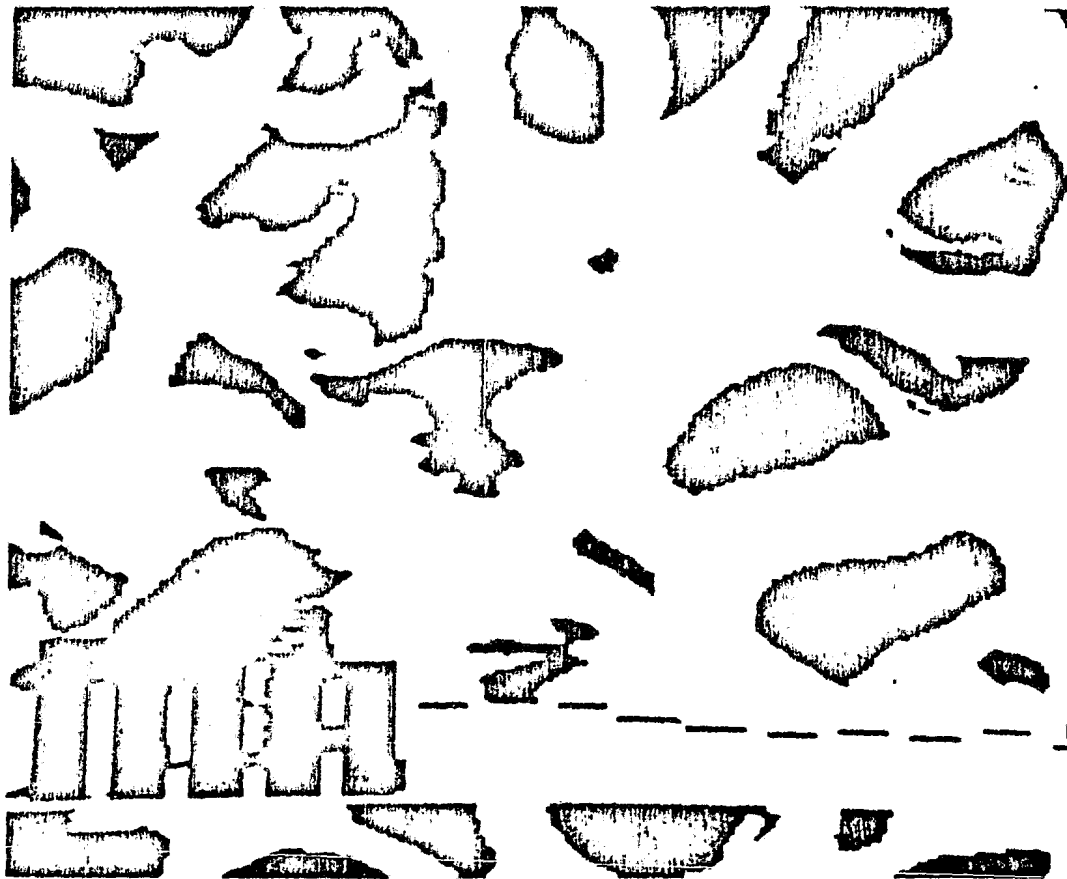


FIG. 7 Imagen de alto contraste (dos tonos) donde se cuantificó, por medio de un histograma, la cantidad de poros y estructura presentes en el material.

En algunos casos la generación de un histograma permite cuantificar el área cubierta por cada uno de los colores o tonos de gris. En la fig 8a se muestra un ejemplo numérico de la distribución de tonos de una imagen cualquiera.

Como se mencionó en la sección 2.6 la información del procesamiento de las imágenes se despliega en el monitor RGB del laboratorio. Este monitor es indispensable para evaluar el efecto de cada paso en el procesamiento de imágenes.

3.5 Programa de Barrido y Adquisición

Para ejecutar un barrido lento por medio de las bobinas de de flexión de la columna del microscopio se seleccionó el método por programación por considerarlo para este caso el más apropiado. La ventaja inmediata de esta opción es el controlar la presencia de ruido, más sobre todo el cabal conocimiento del punto de escritura y lectura de una imagen dada, esto es el manejo preciso del barrido en forma sincronizada.

El programa genera un valor digital que manda a través de la interfaz y que forma parte de la rampa que provoca el barrido del haz. De inmediato accesa el canal de salida del espec trómetro para registrar la presencia de un pulso de rayos-X en la ventana del elemento preseleccionado. En caso afirma-

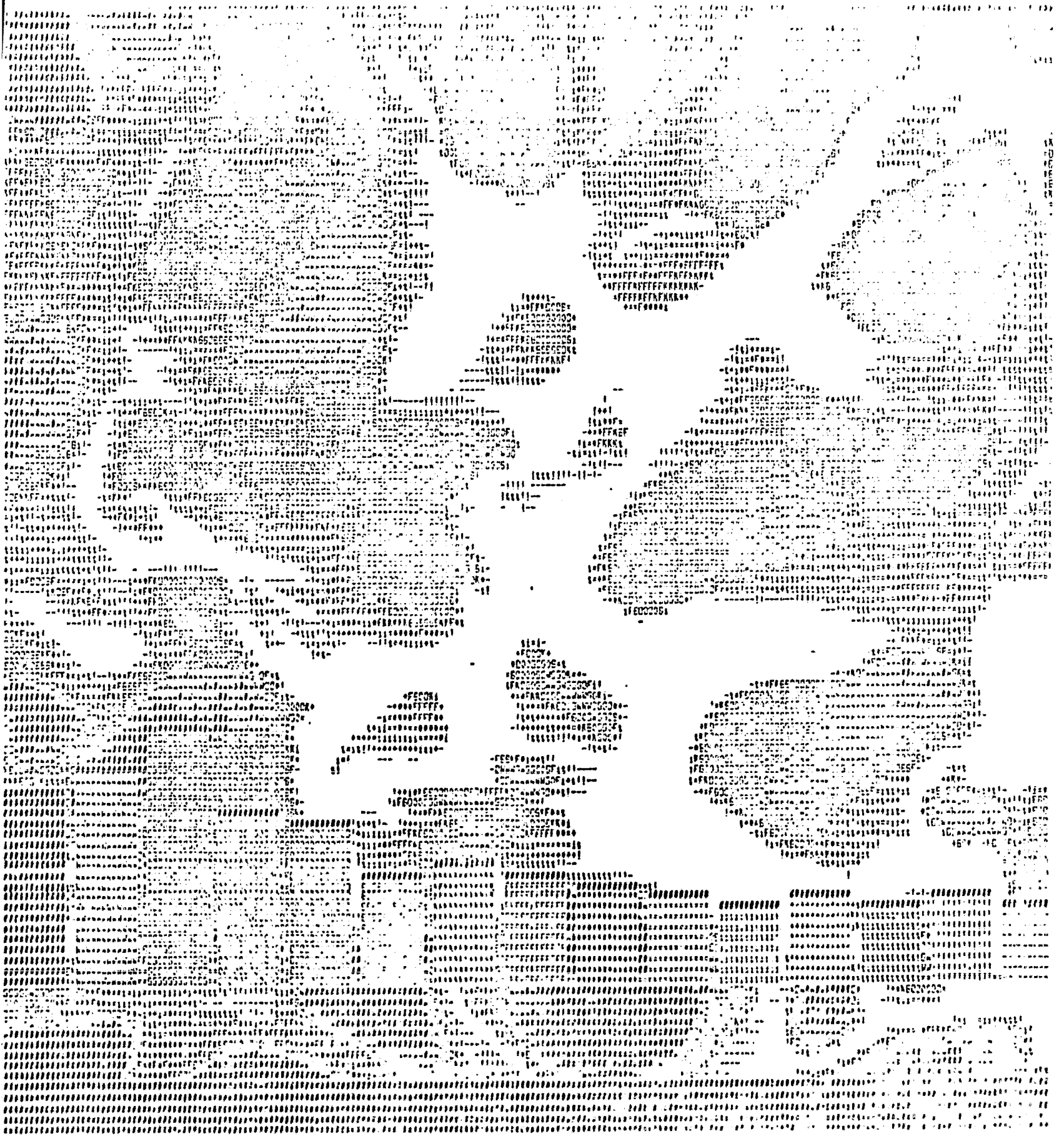


FIG. 8 Impreso donde se muestra, con un histograma, la distribución de tonos en la imagen.

SE EFECTUO CONTEO DE TONOS

PORCENTAJE DE TONO	0	=	4
PORCENTAJE DE TONO	1	=	3
PORCENTAJE DE TONO	2	=	10
PORCENTAJE DE TONO	3	=	16
PORCENTAJE DE TONO	4	=	10
PORCENTAJE DE TONO	5	=	10
PORCENTAJE DE TONO	6	=	5
PORCENTAJE DE TONO	7	=	4
PORCENTAJE DE TONO	8	=	0
PORCENTAJE DE TONO	9	=	0
PORCENTAJE DE TONO	10	=	0
PORCENTAJE DE TONO	11	=	0
PORCENTAJE DE TONO	12	=	0
PORCENTAJE DE TONO	13	=	0
PORCENTAJE DE TONO	14	=	0
PORCENTAJE DE TONO	15	=	15
MEDIA = 12		DESV. ESTANDARD =	9.232
RETORNO DE SUBROUTINA HISGRA			

*

FIG 8a Información cuantitativa de los tonos presentes en la imagen.

tivo se almacena este valor en una región predeterminada de la memoria. En el siguiente paso de programación se manda un nuevo valor a la interfaz para colocar el haz electrónico en una nueva posición. Este proceso se repite hasta completar una línea de exploración, y estas se repiten hasta completar un cuadro.

El tiempo entre cada envío de señal es de 18 μ seg. Al finalizar la exploración de un cuadro el banco de memoria pre-seleccionado se transfiere a la memoria de 32 Kb del digitalizador. Esta a su vez despliega y refresca la imagen para observarla en el monitor.

En este caso se ha descrito el mapeo de un solo elemento en la pantalla, sin embargo es posible clasificar, como se ha descrito en su oportunidad, los pulsos de rayos-X en términos de su energía, es decir, caracterizando elementos químicos en particular, de tal manera que cada localidad de la memoria contenga el tono o combinación de tonos que reflejen la presencia de tal o cual elemento o sus combinaciones. A este mapeo multielemental se le pueden dar gran cantidad de aplicaciones como se verá más adelante. En la fig 9 se presenta un diagrama de flujo en el que se incluyen las principales funciones de este programa.

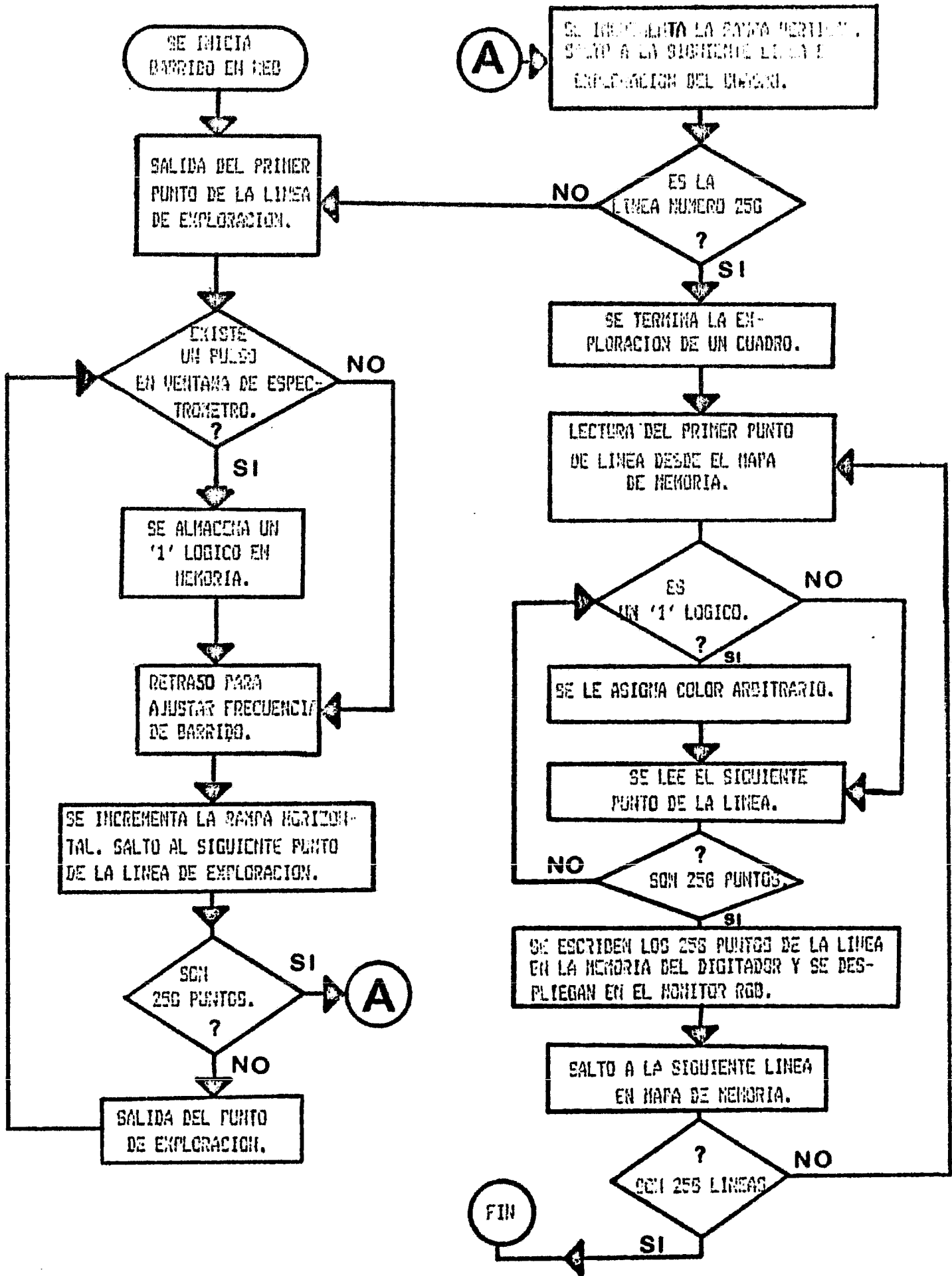


FIG 9

Diagrama de flujo del programa de barrido y adquisición de una imagen de rayos-x.

Con esta última sección queda incluida la descripción del procedimiento experimental utilizado. En el siguiente capítulo se realiza una discusión y evaluación de los resultados obtenidos en esta investigación.

CAPITULO IV. DISCUSION DE RESULTADOS

4.1 Introducción

En las páginas anteriores se ha dado un panorama general en cuanto al equipo electrónico utilizado, la interacción entre los diferentes componentes de sistemas y algunas de las características de su funcionamiento. Además se ha descrito el procedimiento de la adquisición, almacenamiento y procesamiento de imágenes, y se ha elaborado sobre algunos de los detalles. En este capítulo se procederá a evaluar el trabajo realizado, particularmente en cuanto a la formación y despliegue de imágenes multielementales y la cuantificación de rasgos.

4.2 Mapeos multielementales de rayos-X

Se ha mencionado ya que el objetivo principal de los mapeos de rayos-X es el despliegue simultáneo y diferenciable de

una serie de elementos químicos, presentes en el campo visual del microscopio. El argumento principal que apoyó es te interés se relaciona al estudio de la interfaz entre ma teriales.

Las zonas del contacto entre dos materiales suelen ser las zonas más probables para el inicio de fallas mecánicas debi do entre otros factores al crecimiento y propagación de mi crogrietas. Su estudio se justifica además por significar uno de los mayores problemas en el uso de materiales.

Entre los problemas más importantes de interfaz entre mate riales se encuentran los casos de difusión en donde uno de los materiales o ambos penetran la zona exclusiva del otro cambiando las propiedades del contacto y del material en ge neral. Están por ejemplo los problemas de corrosión que se pueden estudiar en secciones transversales de las piezas, y en donde la señalación, mutielemental se puede realizar en base a la asignación de pseudo color para cada elemento.

Este método permite, por ejemplo: cuantificar distancias de penetración de elementos corrosivos, el alcance de un trata miento superficial y los elementos extraños que pudieran lo calizarse dentro de las grietas.

En base a la posibilidad de observación a diferentes aumentos, la resolución del sistema puede ser ajustada acorde. El criterio base para el desarrollo de esta posibilidad instrumental fue el concepto de que estas imágenes pueden llegar a ser de gran utilidad en el estudio de los problemas mencionados. Fue importante establecer la capacidad de cada uno de los instrumentos así como la posibilidad de modificarlos en la dirección deseada. En algunos casos el problema se reducía a la falta de información detallada del funcionamiento de los equipos, en otros a la incompatibilidad de señales entre fabricantes y aún otros al hermetismo informativo que manejan las firmas comerciales. En este estudio, fue pues necesario encontrar las opciones y diseños a nuestro alcance para modificar las funciones convencionales hacia las aplicaciones que se pretenden.

Entre los problemas encontrados en la vinculación de los diferentes equipos se pueden citar los siguientes casos de mayor relevancia.

1. Incompatibilidad entre las frecuencias de barrido del microscopio y el equipo de procesamiento de imágenes. Aún cuando el microscopio utiliza varias opciones en cuanto a la velocidad de barrido la opción más cercana al estándar televisivo presenta un barrido de 115 μ seg por línea de exploración mientras el barrido

convencional es 63, en cuanto al barrido vertical la frecuencia del microscopio es 33 mseg y 16 en el sistema televisivo.

2. El barrido para adquisición de imágenes de rayos-X es bastante más lento que los anteriores, el barrido horizontal es de 48 mseg mientras el vertical es de 12 seg por lo que con la microcomputadora se puede efectuar con mayor facilidad.

Los mapeos multielementales en base a pseudo color presentan en la pantalla una distribución de diferentes colores que reflejan la presencia de elementos químicos. Sin embargo, para presentar en esta tesis los resultados se utilizó un programa que controla la impresora y que sustituye los diferentes tonos por diferentes caracteres. En la fig 10 se muestra una impresión realizada por medio de este programa a su vez incluido en los apéndices. En esta figura se puede observar la distribución elemental en un circuito integrado formado esencialmente de tres elementos: Silicio, Aluminio y Fósforo.

4.3 Cuantificación de rasgos

Una vez obtenidas las imágenes y habiendo realizado el almacenamiento en forma digital se pueden llevar a cabo evaluaciones



FIG. 10 Distribución elemental en un circuito integrado. El aluminio está representado por el caracter 'j' y el silicio por el caracter 'o'

cualitativas de diferentes parámetros.

Para determinar la distancia de difusión de una impureza en un cristal, se establece a partir de una imagen convencional la posición exacta del límite del cristal y la distancia de penetración por medio de un programa que evalúa la distancia máxima del límite en el cual se localizan emisiones de rayos-X del elemento de interés. Cada micrografía cuenta con una línea cuya longitud se conoce en términos de micras. Esta línea ocupa un número determinado de elementos de imagen y es constante en el campo observado cuando la incidencia del haz electrónico es normal a la superficie. Conociendo la escala y evaluando la cantidad de elementos de imagen entre el límite del cristal y las emisiones más lejanas se puede evaluar la distancia de penetración. También es relativamente simple establecer el gradiente de concentración en base al número de eventos en relación a la distancia del límite del cristal.

En el Apéndice se incluye también un programa que cuantifica, en base a la utilización de la escala mencionada, el diámetro promedio de una serie de partículas así como la distribución del diámetro de éstas. La evaluación de distribución de diámetros es de gran importancia en los estudios de microscopía de todo tipo. La precisión con la que se pueden evaluar estos rasgos puede ser de más o menos 0.1 micras.

2. La descripción completa de esta interfaz se encuentra en los capítulos II y III.
3. Se han logrado adquirir imágenes basadas en electrones secundarios y en emisiones localizadas de rayos-X esta información se ha convertido a forma digital y es posible manipularla con el equipo de cómputo del laboratorio.
4. Los resultados presentados en esta tesis han provisto a un equipo convencional, de toda una serie de opciones, algunas de ellas accesibles a costos del orden de 10 millones de pesos, y algunas otras únicas en cuanto a sus posibilidades.
5. La aplicación de esta tecnología ha producido resultados hasta ahora inaccesibles en México y de hecho constituyen un desarrollo tecnológico propio.
6. Desde el punto de vista de microscopía electrónica el desarrollo experimental coloca a este sistema dentro de los equipos más avanzados a nivel mundial.

Durante el desarrollo de este trabajo se han identificado una gran cantidad de posibles aplicaciones de un microscopio vincu

lado directamente a equipo de cómputo. De hecho en un reciente simposio dedicado a la microscopía electrónica se plantea que el microscopio del futuro está irremediablemente vinculado a computadoras.

Con el objeto de señalar algunos posibles campos de aplicación a problemas concretos se enumeran las siguientes posibilidades:

1. Realizar la adaptación completa de la grabadora de señales de video para el almacenamiento de imágenes.
2. En base a una memoria amplia posibilitar el almacenamiento de imágenes de alta resolución que puedan ser accesadas de manera parcial, para posibilitar el estudio de detalles a diferentes escalas en imágenes ya capturadas. Esta opción permite la observación detallada de una muestra sin dedicar el equipo a esta sola tarea.
3. Continuar la elaboración de programas para la extracción cuantitativa de información, teniendo en mente sus múltiples aplicaciones, por ejemplo: Microtopografía cuantitativa, comparación automática de campos, identificación de patrones repetidos, etc...

El autor de esta tesis considera que el procesamiento de imágenes es una técnica que cobrará cada vez más importancia dentro del desarrollo de la ciencia y la industria por lo que piensa que debe dársele un lugar de importancia dentro del desarrollo tecnológico no solo en relación a microscopía sino en la ingeniería de materiales en general.

APENDICE

CROMEMCO Z80 Macro Assembler version 0.1.0
*** MAPEO7 ***

PROGRAMA PARA ADQUISICION DE MAPEOS UNIELEMENTALES EN UN
ESPECTROMETRO DE RAYOS 'X' Y DESPLIEGUE MULTIELEMENTAL
CON COLORES SINTETICOS EN MONITOR RGB.

SUBROUTINAS EXTERNAS

```

0001  ;
0002  ;
0003  ;
0004  ;
0005  ;
0006  ;
0007  ;
0008  ;
0009  ;
0010  ;
0011  ;
0000' 318A01' 0012 MAPED7: LD SP,STACK
      (001B) 0013 EXT CLRSCR,PASFOR,OUTPT,BLKSCR
0000* (020E)' 0014 D7A: EQU 1BH
020E* (0004) 0015 COM
0003' CD3201' 0016 DATO: DS 52B
0006' DD218A01' 0017 LINEA: DS 4
000A' 2B00 0018 REL
0019 CALL RATON
0020 LD IX,MEMORI
0021 LD H,0 ; ALMACEN TEMPORAL DE 8 PUNTOS
0022 ; OBTENIDOS DESDE ERX.
000C' 2E01 0023 LD L,1
000E' 3E08 0024 LD A,B ;CONTADOR DE 8 RECORRIDOS.
0025 ;POR AQUI SE PASA 1 SOLA VEZ.
0010' 324601' 0026 LD (SUSTC),A
0027 ;
0028 ;
0029 ;
0030 ;
0031 ;
0032 ;
0033 VERT: LD C,0 ;SE INICIA BARRIDO VERTICAL
0034 LD E,OFFH
0035 HORZ: CALL GATO
0036 LD B,0 ;SE INICIA BARRIDO HORIZONTAL
0037 LD D,OFFH ; CONTADOR DE PUNTOS POR
0038 ; LINEA DE BARRIDO.
0039 ;
0040 ;
0041 ;
0042 CONT: LD A,B
0043 OUT (1EH),A ; SALIDA DE BARRIDO HORIZONTAL
0044 ; POR PUERTO 1EH DEL D+7A.
0021' 79 0045 LD A,C
0022' D31F 0046 OUT (1FH),A ; SALIDA DE BARRIDO VERTICAL
0047 ; POR PUERTO 1FH DEL D+7A.
0048 ;
0049 ;
0050 TRAP: LD A,0
0051 IN A,(D7A)
0052 AND 1
0053 JP NZ,GDAUNO
0054 LD A,10
0055 DEL: DEC A
0056 JP NZ,DEL
0057 GDACRO: INC L
0058 RETDE1: LD A,(SUSTC)
0059 DEC A
0060 JP NZ,RECO
0061 LD (IX),H
0062 INC IX
0063 LD L,1
0064 LD H,0
0065 LD A,C
0066 RECO: LD (SUSTC),A
0067 JS RECO
0068 ;
0069 ;

```


CROMEMCO Z80 Macro Assembler version 03.07
*** MAPE07 ***

```

004C' 2D          0070  GDAUND: DEC      L
004D' CAGC00'    R 0071          JP      Z,FIJB1
0050' 2D          0072          DEC     L
0051' CA7600'    R 0073          JP      Z,FIJB2
0054' 2D          0074          DEC     L
0055' CAB100'    R 0075          JP      Z,FIJB3
0058' 2D          0076          DEC     L
0059' CABC00'    R 0077          JP      Z,FIJB4
005C' 2D          0078          DEC     L
005D' CA9700'    R 0079          JP      Z,FIJB5
0060' 2D          0080          DEC     L
0061' CAA200'    R 0081          JP      Z,FIJB6
0064' 2D          0082          DEC     L
0065' CAAD00'    R 0083          JP      Z,FIJB7
0068' 2D          0084          DEC     L
0069' CAB800'    R 0085          JP      Z,FIJB8
0066' 3E00        0086          ;
006E' CBC7        0087          ;
0070' B7          0088  FIJB1: LD      A,0
0071' 2E02        0089          SET     0,A
0073' C33400'    R 0090          LD      H,A
0076' 3E00        0091          LD      L,2
0078' CBCF        0092          JP      RETDE1
007A' B4          0093          ;
007B' B7          0094  FIJB2: LD      A,0
007C' 2E03        0095          SET     1,A
007E' C33400'    R 0096          OR      H
0081' 3E00        0097          LD      H,A
0083' CBD7        0098          LD      L,3
0085' B4          0099          JP      RETDE1
0086' B7          0100          ;
0087' 2E04        0101          ;
0089' C33400'    R 0102  FIJB3: LD      A,0
008C' 3E00        0103          SET     2,A
008E' CBDF        0104          OR      H
0090' B4          0105          LD      H,A
0091' B7          0106          LD      L,4
0092' 2E05        0107          JP      RETDE1
0094' C33400'    R 0108          ;
0097' 3E00        0109          ;
0099' CBE7        0110  FIJB4: LD      A,0
009B' B4          0111          SET     3,A
009C' B7          0112          OR      H
009D' 2E06        0113          LD      H,A
009F' C33400'    R 0114          LD      L,5
00A2' 3E00        0115          JP      RETDE1
00A4' CBEF        0116          ;
00A6' B4          0117          ;
00A7' B7          0118  FIJB5: LD      A,0
00A8' 2E07        0119          SET     4,A
00AA' C33400'    R 0120          OR      H
00AD' 3E00        0121          LD      H,A
00AF' CBF7        0122          LD      L,5
00B1' B4          0123          JP      RETDE1
00B2' B7          0124          ;
00B3' 2E08        0125          ;
00B5' C33400'    R 0126  FIJB6: LD      A,0
00B8' 3E00        0127          SET     5,A
00BA' CBEF        0128          OR      H
00BC' B4          0129          LD      H,A
00BD' B7          0130          LD      L,7
00BF' CBEF        0131          JP      RETDE1
00C1' 3E00        0132          ;
00C3' CBF7        0133          ;
00C5' B4          0134  FIJB7: LD      A,0
00C7' B7          0135          SET     6,A
00C9' 2E09        0136          OR      H
00CB' C33400'    R 0137          LD      H,A
00CD' 3E00        0138          LD      L,8
00CF' CBEF        0139          JP      RETDE1
00D1' 3E00        0140          ;

```

```

00B8' 3E00      0141 ;
00BA' CBFF      0142 FIJBB: LD      A,0
00BC' B4        0143      SET      7,A
00BD' 67        0144      OR       H
00BE' C33400'   0145      LD      H,A
0146      JP      RETDE1
0147 ;
0148 ;
0149 ;-----RETRASO PARA AJUSTAR FRECUENCIA HORIZONTAL DE BARRIDO
0150 ;
00C1' 3E0A      0151 REG10: LD      A,10
00C3' 3D        0152 DECA:  DEC      A
00C4' 20FD      0153      JR      NZ,DECA
0154 ;
00C6' 04        0155      INC      B ; INCREMENTO DE LA RAMPA HORIZONTAL.
00C7' 15        0156      DEC      D ; CONTADOR DE PUNTOS POR LINEA.
00C8' C21E00'   0157      JP      NZ,CONT
0158 ;
0159 ;
0160 ;
0161 ;
00CB' 0C        0162 SEGBAR: INC     C ; AUMENTO GRADUAL DE LA RAMPA VERTICAL
00CC' 1D        0163      DEC     E
00CD' C21700'   0164      JP     NZ,HORZ
0165 ;
00D0' CD3201'   0166      CALL   RATON
0167 ;
0168 ;-----SE TERMINA EL BARRIDO DE UN CUADRO COMPLETO
0169 ; SE INICIA DESPLIEGUE EN MONITOR .
0170 ;-----
0171 ;
0172 ;
00D3' 3EFF      0173      LD      A,255
00D5' 320E02*   0174      LD      (LINEA),A
00D8' CD0000#   0175      CALL   CLRSCR
00DB' CD0000#   0176      CALL   BLKSCR
00DE' DD21A2FD' 0177      LD      IX,MEMORI-1000
00E2' FD210000* 0178 NVALIN: LD     IY,DATO
00E6' 2EFF      0179      LD     L,OFFH
00E8' DD7E00    0180 TRAER:  LD     A,(IX)
00EB' 0E08      0181      LD     C,0
00ED' CB47      0182 TRASL: BIT   0,A
00EF' CA1F01'   R 0183      JP     Z,BAJO
00F2' C31601'   R 0184      JP     ALTO
00F5' CB0F      0185 RECORE: RRC  A
00F7' 0D        0186      DEC   C
00F8' CA0001'   R 0187      JP     Z,NVOBYT
00FB' 2D        0188      DEC   L
00FC' 2806      0189      JR    Z,ENVIA
00FE' 18ED      0190      JR    TRASL
0100' DD23      0191 NVOBYT: INC  IX
0102' 18E4      0192      JR    TRAER
0104' D9        0193 ENVIA:  EXX
0105' CD0000#   0194      CALL  PASFOR
0108' D9        0195      EXX
0109' 3A0E02*   0196      LD     A,(LINEA)
010C' 3D        0197      DEC   A
010D' CA0000    0198      JP     Z,00
0110' 320E02*   0199      LD     (LINEA),A
0113' C3E200'   R 0200      JP     NVALIN
0201 ;
0202 ;
0116' FD360005  0203 ALTO:  LD     (IY),5H
011A' FD23      0204      INC   IY
011C' C3F500'   R 0205      JP     RECORE
011F' FD360000  0206 BAJO:  LD     (IY),0
0123' FD23      0207      INC   IY
0125' C3F500'   R 0208      JP     RECORE
0209 ;

```

CROMEMCO Z80 Macro Assembler version 03.07
*** MAPE07 ***

P.148 (1)

```

0210 ;
0211 ;
0212 ;
0128' D9      0213 GATO:  EXX
0129' 1E40    0214      LD      E,'@'
012B' 0E02    0215      LD      C,2
012D' CD0500  0216      CALL   5
0130' D9      0217      EXX
0131' C9      0218      RET
0219 ;
0132' D9      0220 RATO:  EXX
0133' 1E23    0221      LD      E,'#'
0135' 0E02    0222      LD      C,2
0137' CD0500  0223      CALL   5
013A' D9      0224      EXX
013B' C9      0225      RET
0226 ;
013C' D9      0227 CAN:   EXX
013D' 1E26    0228      LD      E,'&'
013F' 0E02    0229      LD      C,2
0141' CD0500  0230      CALL   5
0144' D9      0231      EXX
0145' C9      0232      RET
0233 ;
0234 ;
0146' (0002)  0235 SUSTC: DS      2
014B' (0002)  0236 SUSTD: DS      2
014A' (0040)  0237 BOTTOM: DS     40H
          (01BA') 0238 STACK: EQU     $
018A' (2008)  0239 MEMORI: DS     8200
2192' (0000') 0240      END MAPE07

```

Errors 0
Ranse Count 24

Program Lensth 2192 (8594)
COMMON Lensths / / 0212 (530)

CRONFMOO Z99 Macro Assembler version 03.07
VXX TAPE07

P. 1. 1967

Symbol	Value	Defn	References
ALTO	0116'	0203	0104
BAJO	011F'	0206	0183
BLKSCR	X 0000#	0013	0176
BOTTOM	014A'	0237	
CAN	013C'	0227	
CLRSCR	X 0000#	0013	0175
CONT	001E'	0042	0157
D7A	001E'	0014	0051
DATO	0000*	0016	0172
SECA	00C3'	0152	0153
DEL	002F'	0055	0056
ENVIA	0104'	0193	0199
FIJ01	006C'	0088	0071
FIJ02	0076'	0094	0073
FIJ03	00B1'	0102	0075
FIJ04	008C'	0110	0077
FIJ05	0097'	0118	0079
FIJ06	00A2'	0126	0081
FIJ07	00AD'	0134	0083
FIJ08	00B8'	0142	0085
GATO	0128'	0213	0035
GDACRO	0023'	0057	
GDAUNO	004C'	0070	0053
HORZ	0017'	0035	0164
LINEA	020F*	0017	0174 0196 0199
RAPE07	0000'	0012	0240
MEMORI	016A'	0239	0020 0177
NYALIN	00E2'	0178	0200
NVDEYT	0100'	0191	0187
OUTPT	X 0000#	0013	
PASFOR	X 0000#	0013	0194
RATON	0132'	0220	0019 0166
RECURE	00F5'	0185	0205 0208
REG10	00C1'	0151	0067
REG9	0046'	0069	0060
RETDE1	0034'	0058	0092 0098 0107 0115 0123 0131 0139 0146
SEGBAR	00CB'	0162	
STACK	016A'	0238	0012
SUSTC	0146'	0235	0025 0058 0066
SUSTD	0148'	0235	
TRAER	00E8'	0160	0192
TRAF	0024'	0030	
TRASL	00ED'	0182	0190
VERT	0013'	0033	

histograma

```
E
SUBROUTINE HISTOO
INTEGER TONOS,LX1,LX2,LY1,LY2
DIMENSION TONOS(16)
INTEGER X,Y
BYTE    BYTETO
COMMON//BYTETO
COMMON /GRAF/TONOS,LX1,LX2,LY1,LY2
DO 10 II=0,16
TONOS(II)=0
CONTINUE
10
C
C
C
LIMITES VARIABLES
LX1=18
LX2=247
LY1=14
LY2=220
C
DO 100 I=LX1,LX2
DO 200 J=LY1,LY2
CALL GETPT(I,J)
TONOS(BYTETO)=TONOS(BYTETO)+1
200
100
CONTINUE
CONTINUE
WRITE (3,110)
110
FORMAT (5X,'SE EFECTUO CONTEO DE TONOS'/)
CALL HISGRA
WRITE (3,111)
111
FORMAT (5X,'RETORNO DE SUBROUTINA HISGRA',/
RETURN
END
```

```
C
C
C
C
SUBROUTINE HISGRA
INTEGER TONOS,A,B,XO,YO,MEDIA,PORC2,MED.B1
INTEGER LX1,LX2,LY1,LY2
REAL    LX,LY
BYTE    T
REAL    PORC,PORC3,DESV,MED2
DIMENSION TONOS(16),PORC(16),PORC2(16)
COMMON /GRAF/TONOS,LX1,LX2,LY1,LY2
```

```
C
C
C
C
PANTALLA DE CONTEO DE PUNTOS
CONTORNO OSCURO
XO=0
YO=0
A=LX1
B=255
I=0
CALL BARRA(XO,YO,A,B,I)
XO=0
YO=0
A=255
B=LY1
CALL BARRA(XO,YO,A,B,I)
XO=LX2
YO=0
A=255-LX2
B=255
CALL BARRA(XO,YO,A,B,I)
XO=0
YO=LY2
A=255
B=255-LY2
CALL BARRA(XO,YO,A,B,I)
C
```



```
C      TRAZO DE LINEA DE IX,IY A X,Y
      SUBROUTINE OUTLIN(IX,IY,X,Y,TONO)
      INTEGER IX,IY,X,Y,SX,SY,DX,DY,ER
      BYTE TONO
      DX=X-IX
      DY=Y-IY
      SX=1
      SY=1
      IF (DX.LT.0) SX=-1
      IF (DY.LT.0) SY=-1
      DX=IABS(DX)
      DY=IABS(DY)
      IF (DY.GE.DX) GO TO 30
      ER=2*DY-DX
      DO 20 RG=1,DX
      CALL OUTPT(TONO,IY,IX)
      IF (ER.GT.0) GO TO 10
      ER=ER+2*DY
      GO TO 20
10     IY=IY+SY
      ER=ER+2*DY-2*DX
20     IX=IX+SX
      GO TO 60
30     ER=2*DX-DY
      DO 50 RG=1,DY
      CALL OUTPT(TONO,IY,IX)
      IF (ER.GT.0) GO TO 40
      ER=ER+2*DX
      GO TO 50
40     IX=IX+SX
      ER=ER+2*DX-2*DY
50     IY=IY+SY
60     CALL OUTPT(TONO,IY,IX)
      IX=X
      IY=Y
      RETURN
      END
```

C

B.

PROGRAMA QUE ASIGNA UN CARACTER A CADA PUNTO DEL
MAPA DE MEMORIA DEL DIGITADOR.
ESTO PERMITE, A TRAVES DE LA IMPRESORA, LA OBTENCION
DE COPIAS DE LA IMAGEN, EN PAPEL.

```

TCMND: LD      A,0
        LD      C,2H
        LD      E,10H
        CALL    S
        CALL    APRINT
        COM
DATO:  DS      213
        REL
        LD      C,2
        LD      E,10H
        CALL    S
        CALL    CRLF
        LD      A,0
        LD      (DATO+1),A
TC1:   LD      A,(DATO+1)
        *
        INC     A
        INC     A
        LD      (DATO+1),A
        CP      254
        JP      Z,FIN90
        EXX
        CALL    GRAFIM
        EXX
        CALL    ENVIMP
        JR      TC1
FIN90: RET

```

PROGRAMA PARA CORRECCION AUTOMATICA DE ENVIO DE CARACTERES A LA IM-
PRESORA , EL NOMBRE DEL PROGRAMA ES APRINT..
FECHA DE EXPEDICION 27 --8-- 81

```

APRINT: LD      C,5
        CALL    SUBESC
        *P
        LD      E,34H
        CALL    S
        LD      E,77H
        CALL    S
        CALL    CPNZO
        CALL    SUBESC
        LD      E,32H
        CALL    S
        LD      E,7AH
        CALL    S
        CALL    CPNZO
        RET
SUBESC: LD      E,1BH
        CALL    S
        LD      E,'C'
        CALL    S
        RET
CPNZO:  LD      E,7H
        CALL    S
        RET

```



```
CALL      ESCR
JP RET3
;
M5: LD      A,'D'
CALL     ESCR
JP RET3
;
M6: LD      A,'G'
CALL     ESCR
JP RET3
;
M7: LD      A,'K'
CALL     ESCR
JP RET3
;
M8: LD      A,'F'
CALL     ESCR
JP RET3
;
M9: LD      A,'#'
CALL     ESCR
JP RET3
;
;
M10: LD     A,'='
CALL     ESCR
JP RET3
;
M11: LD     A,69H
CALL     ESCR
JP RET3
;
M12: LD     A,'+'
CALL     ESCR
JP RET3
;
M13: LD     A,74H
CALL     ESCR
JP RET3
;
M14: LD     A,'!'
CALL     ESCR
JP RET3
;
M15: LD     A,'-'
CALL     ESCR
;
*
CALL     ESCR
JP RET3
;
M16: LD     A,'#'
CALL     ESCR
JP     RET3
;
;
*
```

C PROGRAMA PARA GRAFICAR IMAGENES DE CAT (T.U.) A IMPRESORA.

C
C
C
SUBROUTINE GRAFIM
INTEGER J,K,L,CONT2
BYTE CONT,RENG,BYTETO
COMMON //BYTETO,CONT,RENG(211),CONT2

550 IF (CONT.LT.0) GO TO 500
555 CONT2=CONT
K=CONT2
DO 200 J=20,230
CALL GETPT(J,K)
L=J-19
200 RENG(L)=BYTETO
CONTINUE
GO TO 580
500 CONT2=CONT2+2
GO TO 555
560 RETURN
END

C
B.

A
C *****
C PROGRAM PARA GENERAR IMAGENES DE ALTO CONTRASTE
C EL VALOR DE LIMITE INDICA EL NUMERO DEL TONO A
C PARTIR DEL CUAL TODOS LOS TONOS INFERIORES
C SE HACEN NULOS.

C
C
PROGRAM CUANTA
INTEGER I,J
BYTE BYTETO,LIMITE,TONO
COMMON //BYTETO
READ(3,1001) LIMITE
WRITE(3,1001) LIMITE

C
1030 DO 1010 J = 1,256
1040 DO 1020 I = 1,256
1020 CALL GETPT(I,J)
1010 TONO = BYTETO
IF (TONO .GE. LIMITE) GO TO 1030
CALL OUTPT(0,J,I)
GO TO 1040
CALL OUTPT(13,J,I)
CONTINUE
CONTINUE
1001 CONTINUE
FORMAT(1X,I2)
END

B.

ESTE PROGRAMA HACE EL PROMEDIO DE DOS IMAGENES.

```
PROM2:  XOR    A                ;RESET A REGISTRO DESHABILITANDO AREA
        OUT   WS2,A           ;DE VENTANA
        LD    A,BENB
PROL1:  PUSH  AF
        CALL  PRM2L1
        XOR   A                ;RESET
        OUT   WS2,A
        POP  AF
        INC  A
        CP   BENB+10H
        JR   NZ,PROL1
        RET
```

SUBROUTINA DE PROMEDIO DE UNA UNA LINEA DE UNA IMAGEN
EN MEMORIA CON OTRA LINEA EN BANCO DE CAT 100.

```
*P
PRM2L1: PUSH  DE
        LD    HL,VENTANA      ;INICIA LLENADO DE AREA CON UNOS
        LD    (HL),OFFH      ;PARA PERMITIR LECTURA EN EL AREA
        LD    DE,VENTANA+1
        LD    BC,CUENTA
        LDIR
        POP  DE
        OUT  WS2,A           ;HABILITA AREA DE VENTANA
.PRM2L2: IN   A,WS2          ;CICLO DE ESPERA PARA ACCESO
        CP   7FH            ;A VENTANA
        JR   NC,PRM2L2
        LD   BC,CNTAS       ;INICIA TRANSFERENCIA A CAT100
        LD   HL,VENTANA+10H
PRM2L3: PUSH  BC
PRM2L4: CALL  PRBYTE
        DJNZ PRM2L4
        PUSH DE
        LD   DE,20H
        ADD  HL,DE
        POP  DE
*
        POP  BC
        DEC  C
        JR  NZ,PRM2L3
        RET
```

SUBROUTINA QUE PROMEDIA UN BYTE DE LA IMAGEN EN RAM CON OTRO
EN CAT100. EN REALIDAD SON DOS PIXELES DE CUATRO BYTES C/U.

```
PRBYTE: LD    A,(AMEM)
        CP   'R'
        JR   Z,PRBYTE1
        PUSH BC
        LD   A,(HL)
        AND  OFH            ;PRIMER PIXEL, MITAD DERECHA
        LD   B,A           ;GUARDA
        LD   A,(DE)        ;PIXEL DE LA MISMA POSICION EN RAM
        AND  OFH
        ADD  B              ;SUMA DE LOS DOS PIXELES
        RRA                ;DIVIDE ENTDC DOS
```


CLRSCR

```

CLRSCR: XOR      A
        OUT      (WS2),A      ;DESHABILITA VENTANA
        OUT      (WS4),A      ;INICIALIZA OFFSET DE IMAGEN
        OUT      (WS3),A      ;Y REGISTROS AUXILIARES
        LD       A,04         ;DESHABILITA SALIDA DE VIDEO
        OUT      (WS1),A
        LD       A,DIGTZE     ;LLENA LA MEMORIA CON CEROS
        OUT      (WS0),A
HANG:   IN       A,(WS2)      ;ESPERA A QUE DIGITALICE
        CP       7FH
        JR       NC,HANG
        LD       A,0F4H
        OUT      (WS1),A     ;REHABILITA SALIDA DE VIDEO
        RET
    
```

*P

OUTPT

```

OUTPT:  CALL     PARM3
        LD       A,C          ;ABCISA
        LD       (BYTEX),A
        LD       A,E          ;ORDENADA
        LD       (BYTEY),A
        LD       A,(HL)       ;TONO
        LD       (BYTETONO),A
        CALL     DIRPIXEL
        JR       NC,PIXELO
PIXEL1: LD       A,(BYTETONO)
        AND      0FH
        LD       B,A
        LD       A,(HL)
        AND      0FOH
        OR       B
        LD       (HL),A
        XOR      A           ;CIERRA VENTANA
    
```

*

```

        OUT     WS2,A
        RET
PIXELO: LD       A,(BYTETONO)
        AND      0FH
        SLA     A
        SLA     A
        SLA     A
        SLA     A
        LD       B,A
        LD       A,(HL)
        AND      0FH
        OR       B
        LD       (HL),A
        XOR      A
        OUT     WS2,A
        RET
    
```

GETPT

GETPT

```
GETPT: CALL PARMZ
        LD A,E
        LD (BYTEX),A      ;ABCISA
        LD A,L
        LD (BYTEY),A      ;ORDENADA
        CALL DIRPIXEL
TONO1:  JR NC,TONDO
        LD A,(HL)
        AND OFH
        LD (BYTETONO),A
        XOR A
        OUT WS2,A
TONDO:  LD A,(HL)
        AND OFOH
        SRL A
*
        SRL A
        SRL A
        SRL A
        LD (BYTETONO),A
        XOR A
        OUT WS2,A
        RET
```


BIBLIOGRAFIA

Bernard Grob. Basic Television Principles and Servicing. McGraw-Hill Kogakusha 1975.

Instruction Manual. JSM-35C Scanning Microscope. JEOL LTD. Tokyo Japan.

Circuit Diagrams and Service Manual. JSM-35C Scanning Microscope. JEOL LTD. Tokyo Japan.

Linear Applications Handbook. National Semiconductor. Santa Clara, California. 1978

Linear Databook. National Semiconductor. Santa Clara, California. 1978.

Instruction Manual. Kevex Micro-X 7 000 Analytical Spectrometer. Foster City, California.

Cromemco Text Editor. Instruction Manual, Cromemco Inc. Mountain View, California, 1978.

Cromemco Macro Assembler. Instruction Manual, Cromemco Inc. Mountain View, California. 1978.

Zilog Z-80 CPU. Programming Reference Card. Cupertino, California.

Cromemco Fortran IV. Instruction Manual Cromemco Inc. Mountain View, California. 1978.

Cromemco D+7A I/O. Instruction Manual Cromemco Inc. Mountain View, California. 1978.

REFERENCIAS

1. CASTLEMAN "Digital Image Processing" Prentice Hall. 1980.
2. GOLDSTEIN "Practical Scanning Electron Microscopy" PLENUM PRESS New-York. 1975
3. PERALTA, R. "Asignación de colores sintéticos para mapeos
HERNANDEZ, G. multielementales por medio de microsonda de
PRADO J. rayos-X"
XXV Congreso Nacional de Investigación en
Física. Jalapa, Ver. 1982.
4. PERALTA, R. "Procesamiento digital de imágenes de micros-
HERNANDEZ, G. copio electrónico de Barrido"
II Simposio de Instrumentación
Oaxtepec, Mor. 1982.