



01170
2ej. 3

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Desarrollo Conjunto de Procesamiento Digital de Imágenes y Sistemas Automatizados

Por :
Esaú Vicente Vivas

T E S I S

Presentada a la División de
Estudios de posgrado de la :

FACULTAD DE INGENIERIA

Como requisito para obtener
el grado de :

MAESTRO EN INGENIERIA ELECTRICA

UNAM, México, D. F. Dic. 1986

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.

INDICE

AGRADECIMIENTOS RESUMEN

1

CAPITULO I. INTRODUCCION

1.1	Introducción.	2
1.2	Aplicaciones del Procesamiento Digital de Imágenes (PDI).	3
1.3	Los sistemas automatizados.	5

CAPITULO II. SISTEMA DE COMPUTO Y EQUIPO ELECTRONICO EXPERIMENTAL.

2.1	Introducción.	7
2.2	Sistema de digitación de imágenes.	7
2.2.1	Elementos de un digitador de imágenes.	9
2.3	Microscopio Electrónico de Barrido (MEB).	10
2.4	Espectrómetro de Rayos-X.	12

CAPITULO III. PROCESAMIENTO Y ANALISIS DIGITAL DE IMAGENES DESARROLLADO EN EL LABORATORIO.

3.1	Introducción.	15
3.2	Procesamiento digital de imágenes (PDI).	16
3.3	Operaciones aritméticas.	18
3.4	Operaciones lógicas y transformaciones.	25
3.5	Alto contraste, contornos y amplificación.	35
3.6	Indices de porosidad, densidad de grietas en suelos e histogramas.	35
3.7	Cuantificación automática de diámetros de partículas.	42
3.8	Filtrado Optodigital.	47
3.9	Cálculo de desplazamientos en materiales bajo compresión.	51
3.10	Adquisición de imágenes de alta resolución de MEB.	54
3.11	Simulación de imágenes topográficas.	59
3.12	Otras aplicaciones de las técnicas desarrolladas.	62

CAPITULO IV.	APLICACIONES DESARROLLADAS PARA EL "PDI" EN SISTEMAS AUTOMATIZADOS.	
4.1	Introducción.	67
4.2	Extracción de información en gráficas de Difracción de Rayos-X.	67
4.3	Banco de espectrogramas de Rayos-X para correlación y despliegue automático.	79
4.4	Análisis estadístico de tejidos pulmonares.	94
CAPITULO V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	
5.1	Conclusiones.	100
5.2	Recomendaciones.	104
APENDICES.		
A	Cronología del PDI y los SA	107
B	Perspectivas de uso del PDI y los SA como factor de desarrollo tecnológico.	109
C	Listado de programas de Procesamiento Digital de Imágenes.	
D	Listado de programas de Análisis de Difractogramas de rayos-X.	
E	Listado de programas del Espectrobanco.	

AGRADECIMIENTO

El autor expresa su agradecimiento por la confianza manifestada, las ideas y el impulso para obtener el grado de maestría, al Dr. Ricardo Peralta Fabi. De igual forma agradece la ayuda técnica del Ing. Guillermo Hernández, quien inició el trabajo práctico en procesamiento de imágenes en el laboratorio de Micromecánica y participó en las ideas de trabajo para esta tesis.

Se agradece también a la sección de Micromecánica de Sólidos del Instituto de Ingeniería, UNAM, la completa disponibilidad de recursos para elaborar el presente trabajo.

Se otorga un especial reconocimiento a Araceli Cifuentes y a Salvador Villegas por sus atinados consejos y correcciones en la redacción de esta tesis.

RESUMEN

Esta tesis describe el trabajo desarrollado en:

- Procesamiento y análisis digital de imágenes de microscopio electrónico de barrido.
- Un sistema para análisis automatizado de gráficas de difracción de rayos X.
- La formación de un banco de espectrogramas de rayos-X.
- Un sistema para facilitar el trabajo de recopilación y estadística de espectrogramas, tradicionalmente tedioso, en disciplinas medico-biológicas.

Las técnicas por describir se elaboraron para el Laboratorio de Micromecánica del Instituto de Ingeniería. UNAM.

Se presentan resultados obtenidos con cada una de estas técnicas y se explican las aplicaciones interdisciplinarias desarrolladas.

Para finalizar, se discuten los aspectos teóricos relevantes y se hacen recomendaciones para continuar el desarrollo y aplicación de los sistemas elaborados.

CAPITULO I. INTRODUCCION

1.1 INTRODUCCION

Las técnicas del Procesamiento Digital de Imágenes (PDI) y los sistemas automatizados (SA), son áreas dinámicas que cuentan con un futuro brillante. Sus aplicaciones nos afectarán en las décadas siguientes en términos de aprendizaje, salud, entrenamiento, servicios, entretenimiento, etc., por un lado; por otro, como mecanismo de crecimiento y defensa de los países industrializados, pues saturarán aún más con éstos a los mercados e industrias mundiales acelerando su producción y beneficio, en tanto que en los países no industrializados seguirán fomentando el consumo y la dependencia.

Existe, sin embargo, la posibilidad de disminuir la dependencia en cuanto a la compra de equipo especializado; mediante actividades que fomenten el avance de técnicas locales orientadas a solucionar problemas específicos. Esto generará corrientes y después escuela en áreas prioritarias, para satisfacer en primer lugar las necesidades particulares y después para encausar importantes aspectos del desarrollo industrial nacional. Este tipo de actividades cae principalmente bajo responsabilidad de Universidades e Institutos de Investigación, vinculando su trabajo con actividades de desarrollo tecnológico que apoyen a la industria.

En el Laboratorio de Micromecánica del Instituto de Ingeniería de la UNAM, la realización de investigación en micromecánica de materiales, con ayuda de técnicas como la microscopía electrónica y la interferometría holográfica, motivó el desarrollo de técnicas auxiliares para facilitar y acelerar la obtención de resultados en pruebas experimentales. Es así como el procesamiento de imágenes y la integración de Sistemas Automatizados se convirtieron en herramientas de apoyo fundamentales para las investigaciones desarrolladas.

Esta tesis describe las técnicas elaboradas en procesamiento digital de imágenes, tanto en procesamiento como en análisis, para mejorar y extraer información de imágenes provenientes de microscopio electrónico de barrido, de cámaras de TV, así como de gráficas y fotografías digitalizadas.

En cuanto a sistemas automatizados, se describe la integración y programación de equipo de análisis para mejorar los diagnósticos generados con su uso. En el capítulo IV se explicará el diseño y desarrollo de sistemas automatizados en: análisis de gráficas de difracción de rayos

X; un banco de espectrogramas de rayos-X y de un sistema de recopilación de datos médico-bilógicos, labor tradicionalmente tediosa.

El trabajo realizado comprende también la elaboración de interfaces para comunicar equipos autónomos; programas interactivos para la comunicación usuario-computadora, incluyendo programas de adquisición, manipulación y análisis de datos.

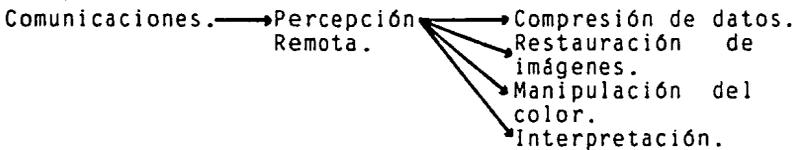
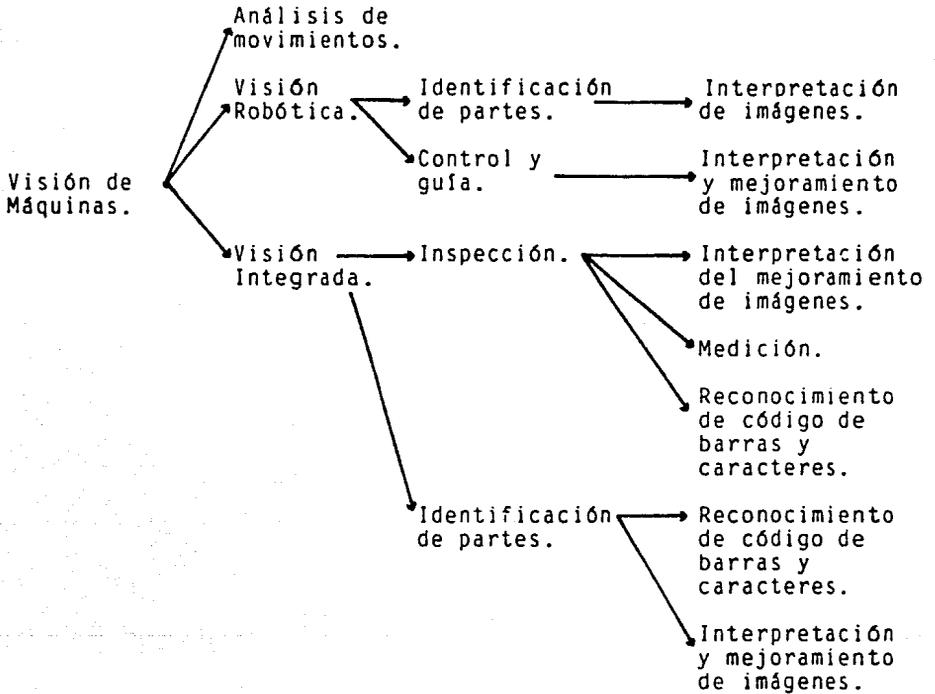
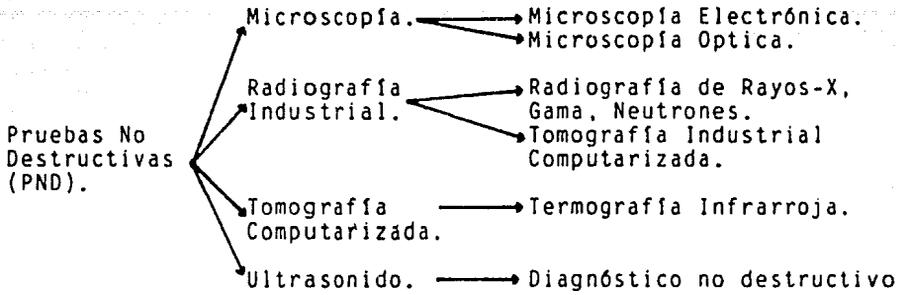
En el capítulo I se hace una descripción general acerca de las características, usos actuales y tendencias de estas ramas tecnológicas; ofreciendo un panorama general de aplicaciones para iniciar, en capítulos posteriores, la solución de algunos problemas en el laboratorio de Micromecánica, utilizando las técnicas que se comentarán a continuación.

1.2 APLICACIONES DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMAGENES (PDI)

El PDI o manipulación de imágenes por computadora es una técnica de trabajo caracterizada por su aplicabilidad a problemas diversos, lo cual la ha convertido en una técnica que se distingue por su dinamismo evolutivo; difícil de encontrar en temas no contemporáneos. Algunos factores que determinan un importante futuro al PDI son la tendencia a la baja de costos del equipo de cómputo y el de unidades de proceso y almacenamiento masivo (que tienden a ofrecer mayor capacidad en el menor espacio posible debido al desarrollo de nuevas tecnologías en semiconductores y materiales); se esperan además impresionantes adelantos basados en tecnología óptica.

Estas ventajas, aunadas al desarrollo de nuevas arquitecturas en computadoras que emplean arreglos de microprocesadores de bajo costo y CCDs (dispositivos de carga acoplada) como sensores, hacen posible el crecimiento del PDI. Otro factor muy importante para el desarrollo de esta técnica, es el trabajo en nuevas aplicaciones como: diagnóstico médico, percepción remota, automatización industrial, arte, soporte de métodos de incursión militar para el desarrollo armamentista de los países llamados desarrollados, etc.

En el siguiente esquema se muestran los campos y aplicaciones de sistemas electrónicos para procesar imágenes:



Para un lector interesado en mayores detalles, en el apéndice A se da una reseña de desarrollo en las partes estructurales que repercutieron directamente en el comportamiento del PDI.

1.3 LOS SISTEMAS AUTOMATIZADOS

Históricamente (de acuerdo a la forma en que se conciben actualmente) comienzan con el uso de la computadora, como herramienta, en la industria. De ahí en adelante el área se fortaleció con el desarrollo de investigación y aplicaciones en el control de eventos y procesos repetitivos, dándose origen a líneas de investigación en diseño y manufactura asistido por computadora (CAD/CAM), inteligencia artificial (IA), etc, técnicas que hoy se utilizan para mejorar y fortalecer las labores en Escuelas, Universidades, Industria etc.

Las ventajas de la automatización son diversas, dependiendo del tipo de aplicación, pero su característica más importante destaca al recordar que los países industrializados la utilizan para generar soluciones a problemas particulares, que dependen de condiciones económicas, industriales y ante todo culturales.

Los sistemas automatizados, a nivel nacional, conllevan una dicotomía, pues por un lado representan un gran riesgo (si se tratara de sustentar el progreso nacional con base en la importación desmesurada de soluciones), y por otro lado, representan también un gran reto para las decisiones de los organismos estatales y para la ingeniería en todas sus áreas.

Para la industria nacional, la automatización presenta una clara conveniencia de trabajo en la línea de los llamados sistemas expertos (SE), cuyas características son: ser relativamente sencillos, prácticos, de bajo riesgo y costo, y "no necesitar información tecnológica avanzada". Este tipo de trabajo está desarrollándose por grupos vinculados a trabajo interdisciplinario de tipo tecnológico. Otra característica importante es el que se producen en baja escala, en donde el trabajo conduce progresivamente a aplicaciones más ambiciosas. Estas características implican que el tipo de aplicaciones no son comerciales, hasta el momento, pues su función específica es solucionar problemas determinados.

Los SE colectan fragmentos de toma de decisiones en una base de datos y la accesan para abordar problemas específicos. Entre las aplicaciones de los SE se encuentran: programas de entrenamiento en temas específicos; diagnóstico médico; detección de fallas y reparación de equipo científico e industrial; interpretación de datos químicos; reconocimiento de voz e imágenes; apoyo en la toma de

decisiones financieras; interpretación de señales; exploración minera y petrolera; información para el uso de computadoras; diseño de circuitos VLSI; configuración de computadoras; planeación y desarrollo de estrategia militar.

Los SE, que también reciben el nombre de Ingeniería de conocimiento, se tienen catalogados como un subcampo de la IA, pues de ésta utiliza 3 conceptos para reforzarse: programación simbólica, solución de problemas e investigación.

Una conclusión que debe subrayarse es la intersección entre las técnicas de PDI y los sistemas automatizados (SA). Se dan los casos en que el PDI se torna herramienta de los SA; y en otras aplicaciones los SA se vuelven el instrumento del PDI. Es ésta la razón por lo que en la mayor parte de los lugares donde se realiza alguna de estas actividades, se llegue a la necesidad de abordar la técnica complementaria; como es el caso del trabajo expuesto en esta tesis.

En el apéndice B se exponen, más ampliamente, las perspectivas del PDI y los SA como factores de desarrollo tecnológico.

En el siguiente capítulo se hará la descripción del equipo utilizado para desarrollar el trabajo expuesto en los capítulos subsecuentes.

CAPITULO II. SISTEMA DE COMPUTO Y EQUIPO ELECTRONICO EXPERIMENTAL

2.1 INTRODUCCION

En la sección anterior se ofreció un panorama general de las técnicas de PDI y SA. En este capítulo se realizará la descripción del equipo usado en el Laboratorio de Micromecánica del Instituto de Ingeniería, el cual forma la base de trabajo para esta tesis. Se describirán las características, funcionamiento y, en algunos aspectos, las limitaciones del equipo utilizado.

La relación entre el instrumental y las técnicas de PDI y SA se enfatizará al final de las secciones correspondientes, para proponer así, lineamientos de trabajo y superación de algunas restricciones en el equipo, los cuales se presentarán en capítulos posteriores.

2.2 SISTEMA DE DIGITACION DE IMAGENES

El equipo de procesamiento de imágenes está vinculado a una microcomputadora de 8 bits que utiliza el ducto estándar industrial S-100. Las partes integrantes del sistema de cómputo son: un módulo que contiene al CPU Z80, controladores de discos flexibles y rígido, una tarjeta con convertidores A/D y D/A de 8 bits, una tarjeta para comunicación con 2 puertos serie y 2 en paralelo, 3 tarjetas de memoria cada una con 64Kb de RAM (que permiten el uso del sistema operativo multiusuario CROMIX), 2 terminales de video, una impresora de matriz de puntos, una máquina de escribir electrónica de margarita (rediseñada en este laboratorio para usarse como impresora) y dos módulos electrónicos para efectuar PDI, figura 1. El soporte de programación está constituido por los lenguajes: ensamblador, basic, fortran, pascal, C y lisp.

El equipo de digitación consta de un banco de memoria RAM dinámica de 32Kb y un convertidor A/D, basado en comparadores analógicos de 4 bits de resolución. El sistema permite capturar y almacenar imágenes de televisión para su posterior procesamiento o despliegue. La imagen almacenada consta de una matriz de 255 X 255 puntos, cada uno representando una intensidad luminosa de hasta 16 niveles de tonos de gris, o bien, de colores.

El contenido del banco de memoria se puede desplegar en cualquier televisión monocromática o de color, pues el digitador tiene salidas analógicas para controlar, de forma independiente, los cañones que generan los colores: rojo, verde y azul. El banco de memoria es accesible a través de

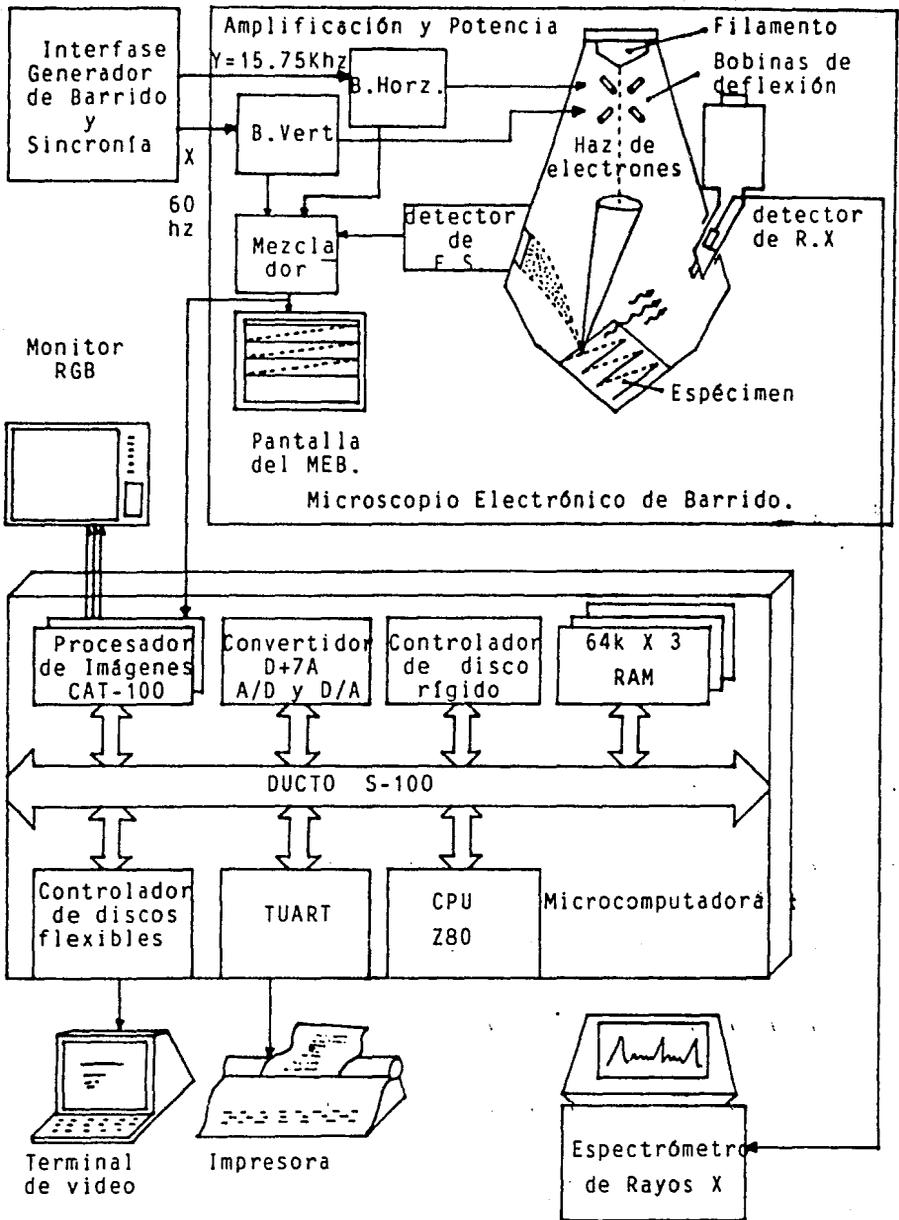


Fig.1. Equipo utilizado.

direcciones o por medio de una ventana, cuya dimensión se controla por programación.

La transformación de información de D/A se efectúa mediante circuitos resistivos, que evalúan el contenido en memoria para cada uno de los puntos almacenados en el banco.

El equipo maneja la norma televisiva denominada NTSC, de 525 líneas, en la cual se rastrean el campo par e impar en 1/30 de segundo, o sea, 60 cuadros/segundo. Sin embargo, el digitador rastrea aproximadamente la mitad de esas líneas, como se mencionó anteriormente, y las captura en 1/60 de segundo. El equipo se encuentra conectado en paralelo a la microcomputadora, posibilitando la transferencia de imágenes hacia los distintos periféricos, ya sea para propósito de análisis, procesamiento, almacenamiento magnético (a través de archivos) o bien para graficación permanente.

En un digitador de "n" bits de conversión, se tienen 2ⁿ niveles de brillantez; para nuestro digitador de 4 bits, 0 corresponde al negro y 16 al blanco, o en su caso a 16 colores arbitrarios, que el ojo humano discrimina mejor que los tonos de gris.

El número de puntos, así como el número de niveles de gris manejados por un procesador de imágenes, depende de la arquitectura de diseño del equipo.

Por último mencionaremos que el equipo de digitación acepta imágenes provenientes de cámaras de video, de videograbadoras -un medio masivo de almacenamiento eficiente y económico, aunque poco rápido- o de cualquier tipo de sistema que cumpla la norma NTSC.

2.21 ELEMENTOS DE UN DIGITADOR DE IMAGENES

Un sistema de digitación de imágenes contiene cinco elementos:

1. Un dispositivo con sensor integrado para medir la intensidad de los elementos de una imagen durante el muestreo. Este transductor convierte la energía capturada en una señal de voltaje; se puede tratar de un fotoemisor, celda fotovoltaica, fotomultiplicador, detector de electrones, etc.
2. Un sistema electrónico para barrer la imagen, es decir un patrón de movimiento definido que permite el muestreo y el direccionamiento ordenado de los puntos de la imagen.
3. La etapa de muestreo y conversión, que permite el

acceso a puntos específicos de la imagen, así como a la información numérica que permite manipularla digitalmente.

4. Un banco de memoria que puede utilizarse para almacenar y procesar imágenes. Este dispositivo permite a su vez la recuperación de datos para la reconstrucción de éstas.
5. El último elemento consta de dos partes, la primera se encarga de reconstruir una señal de video con base en los datos contenidos en el banco de memoria, y la segunda es el medio de despliegue de la imagen.

Algunas de las características más importantes en un equipo de PDI son: número de líneas digitadas, número de puntos de muestreo y número de niveles de gris.

En algunas aplicaciones, un sistema de PDI con pocas líneas, muestras, niveles de gris y nivel medio de ruido, puede ser adecuado para resolver el problema. Considerando que el costo de los sistemas actuales aumentan exponencialmente con la resolución, es importante determinar la suficiencia del equipo antes de su adquisición.

2.3 MICROSCOPIO ELECTRONICO DE BARRIDO (MEB)

El Laboratorio de Micromecánica cuenta con un MEB para realizar exploración e investigación de la microestructura de materiales.

Las partes principales del MEB son la columna de vacío (donde se generan y afocan los electrones) y la consola de electrónica (donde se visualizan las imágenes).

En la columna de vacío se coloca la muestra por estudiar, se tiene también el filamento por donde circula corriente, y además, la presencia de una diferencia de potencial, para generar así el haz de electrones que se desplaza bajo la acción de las bobinas de deflexión. figura 1.

En la consola de electrónica se tienen: el monitor monocromático -para observar la imagen generada-; un equipo fotográfico para registrar detalles importantes durante las exploraciones; y además, instrumentos para control de parámetros como barrido, amplificación, brillantez, contraste, astigmatismo, afocamiento, selección del alto voltaje, corriente del filamento, mezclado de imágenes y control del equipo fotográfico. figura 2.

La señal de video se forma con la información de

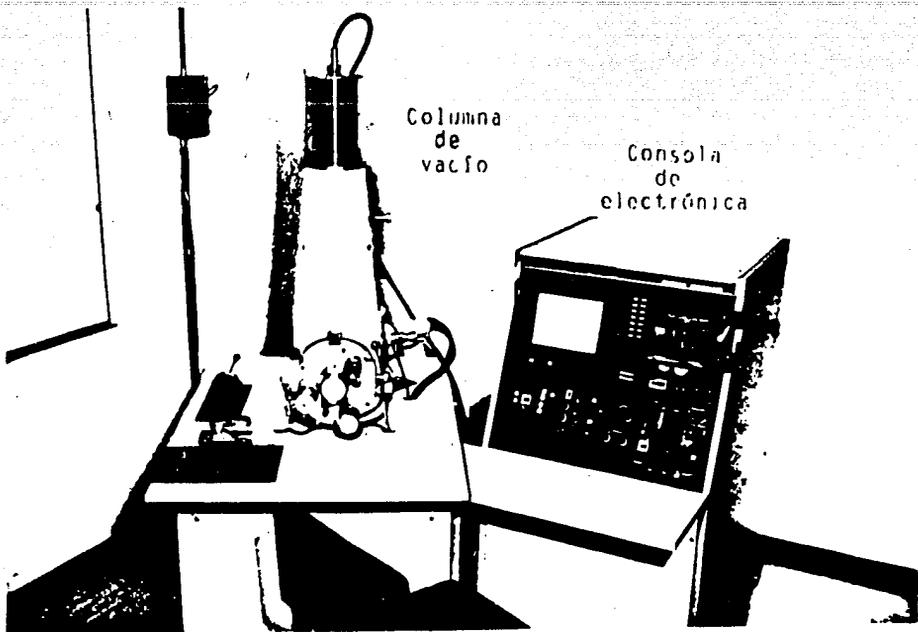


Figura 2. Microscopio Electrónico de Barrido (MEB).

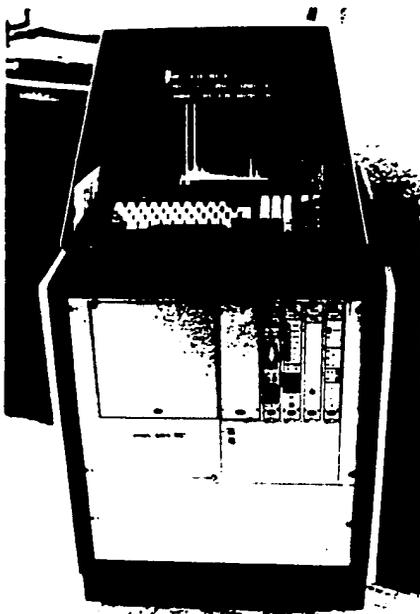


Figura 3. Espectrómetro de rayos-X.

sensores. El MEB de micromecánica cuenta con un detector de electrones secundarios, uno de electrones retrodispersos y un detector de rayos-X; los cuales capturan la emisión de las diversas radiaciones de la muestra cuando es incidida por el haz de electrones en la columna de vacío.

Las imágenes se despliegan a través de un monitor controlado en sincronía con el haz de electrones que barre la muestra, figura 1.

El MEB contiene un sistema para generar imágenes con número variable de líneas de contraste -barridos-. desafortunadamente ninguno de ellos satisface las normas del equipo de digitación.

Para vincular las imágenes del MEB con el sistema de PDI, se desarrolló un circuito que acondiciona la señal de video al estándar utilizado por el digitador de imágenes ref.1. Este circuito se conecta en paralelo a la electrónica del MEB, para controlar el barrido de las bobinas de deflexión y el del monitor de la consola, generando así una señal de video compuesta, restringida a las frecuencias del estándar antes mencionado.

Con estos medios, se tiene la posibilidad de procesar imágenes de MEB con una computadora.

El trabajo sistemático con el MEB implica el estudio de gran cantidad de muestras y el consecuente análisis de las mismas. Uno de los objetivos principales en el laboratorio, es lograr el uso del PDI como técnica de procesamiento y análisis automático de imágenes provenientes de MEB. Lo anterior da lugar a la obtención e interpretación estadística de parámetros experimentales y el aumento de su confiabilidad, refs.4,5.

En el capítulo III se hablará sobre las técnicas desarrolladas para el trabajo con imágenes.

2.4 ESPECTROMETRO DE RAYOS X

El Laboratorio cuenta también con una microsonda de rayos-X vinculada al MEB, con el objeto de realizar análisis químico elemental. El equipo consta de dos partes primordiales: una consola de electrónica y control y una terminal de despliegue a color, figura 3. Este sistema, basado en microprocesador, recibe información del detector de rayos-X colocado en la columna de vacío, figura 2.

La señal de salida del detector es una serie de pulsos de amplitud y magnitud variable de acuerdo a la emisión de los rayos-X, característicos de la muestra. Estos se generan por la interacción del haz de electrones con los

átomos de la muestra en estudio. La consola electrónica se encarga de captar los pulsos de información y de catalogarlos de acuerdo a niveles de energía previamente programados. La captura de datos es un proceso de integración, pues a medida que pasan diferentes campos de barrido sobre la muestra, la información estadística retenida es más confiable. Los datos acumulados se utilizan para trazar una gráfica que señala el número de eventos ocurridos por nivel de energía: es decir, un espectrograma, figura 4. Este se modifica a medida que transcurre el tiempo y aumenta el número de adquisiciones. La cuenta de eventos por nivel de energía permite al equipo, mediante programas de graficación, señalar, a través de barras verticales, los lugares donde debieran aparecer picos en el espectro; para así verificar la presencia de elementos químicos como componentes del material en estudio. El despliegue de la consola indica además el nombre del elemento así como su número atómico.

Debe señalarse que este sistema realiza sólo análisis cualitativo y existe la alternativa de hacerlo cuantitativo a través del procesamiento de espectros.

El equipo permite, además, definir regiones en los espectros adquiridos para realizar mapeos en la pantalla del MEB, también permite la compresión y expansión de espectros, inserción de texto para etiquetarlos, programar su tiempo de adquisición, sumarlos, desplegar dos de ellos como máximo, la elaboración de pequeños programas que controlan las secuencias anteriores y el almacenamiento en memoria RAM, volátil, de tan sólo 4 espectrogramas.

Si se toma en cuenta que al realizar exploraciones con ayuda del MEB y la microsonda, es necesario, en ocasiones, adquirir decenas de espectrogramas para una sola muestra (en pocas horas) se comprenderá la magnitud del problema de adquirir y almacenar datos.

La compañía que fabrica el equipo, entrega los programas de aplicación en memorias EPROM, y además ofrece a la venta varios programas para procesar o graficar espectrogramas. Por otro lado, los modelos de equipo reciente permiten el almacenamiento y proceso de espectros con ayuda de unidades de disco flexible integradas en la consola electrónica, lo que hace más versátil al sistema.

Ante el problema de trabajar con equipo que se vuelve obsoleto, por la producción de nuevos y mejores aparatos (que permiten obtener mejor calidad en el trabajo así como a hacerlo más eficiente) quedan dos soluciones posibles: la compra de equipo o componentes de respaldo nuevas, lo cual haría todavía más dependiente el trabajo del laboratorio respecto al equipo, o una mejor, aunque no tan rápida " el desarrollo de técnicas para aprovechar los

recursos disponibles y solucionar así los problemas contemplados". Esto último fue lo que decidió el Laboratorio de Micromecánica. El trabajo desarrollado se presenta en el capítulo IV.

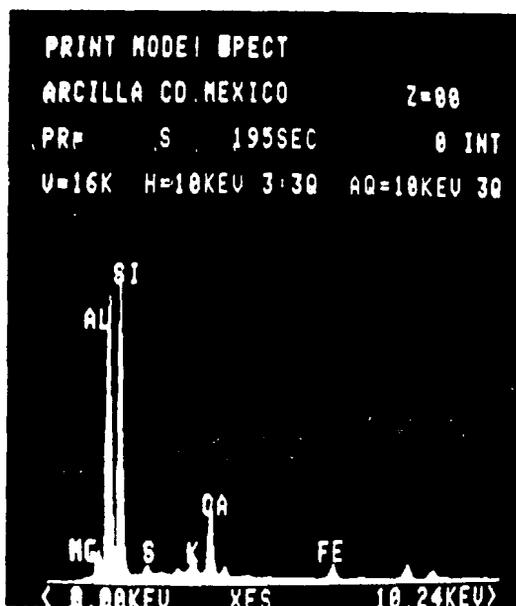


Figura 4. Espectrograma de rayos-X.

3.1 INTRODUCCION

En este capítulo se presenta el trabajo desarrollado para procesar imágenes de MEB y de cámaras de televisión, así como las técnicas optodigitales utilizadas para mejorar la adquisición e interpretación de gráficas digitadas.

La microscopía electrónica de barrido permite la observación microscópica de la estructura de materiales, principalmente a nivel cualitativo, sin embargo, es muy útil también el disponer de información cuantitativa acerca de muestras en estudio, por lo que se desarrolló un sistema especial para extraer este tipo de información a partir de las imágenes del MEB.

En la actualidad existen algunos sistemas comerciales de propósito general que permiten evaluaciones semiautomáticas en imágenes, sin embargo, las consideraciones amplias de diseño dificultan las aplicaciones especiales. Tal es el caso en el la micromecánica de sólidos, objeto primordial de estudio del presente trabajo, cuyos resultados, sin embargo, son aplicables en otras disciplinas, como se mostrará más adelante.

Las imágenes utilizadas para procesamiento y análisis digital, fueron principalmente imágenes del MEB, pero incluyen también a aquellas formadas con información de rayos-X (utilizadas para la identificación de compuestos químicos), además de gráficas y fotografías digitadas.

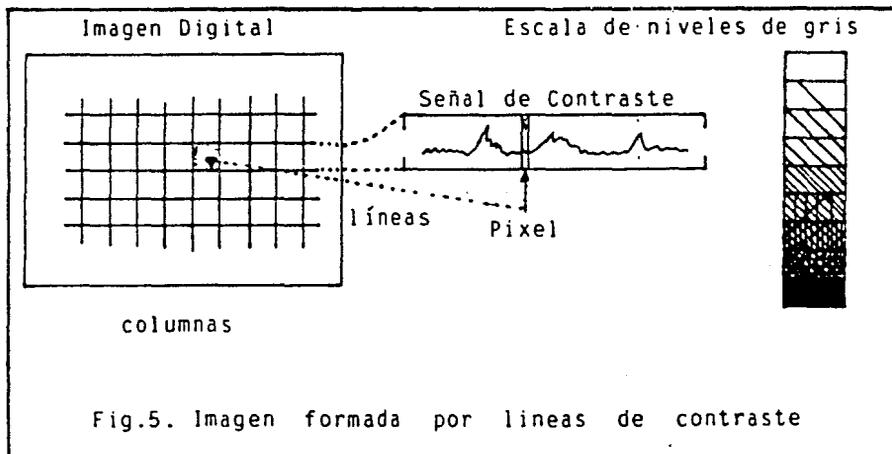
El procesamiento digital de imágenes, PDI, desarrollado para este proyecto abarca técnicas como: suma, resta, alto contraste, trazado de contornos, modificación de brillantez, linearización de histogramas, operaciones lógicas, filtrado, etc.. En tanto que el análisis de imágenes comprende el cálculo de índices de porosidad, la cuantificación de diámetros de partículas, cálculo de densidades de desplazamientos e índices de grietas en materiales.

Una de las grandes ventajas que existen al trabajar con equipo como el MEB, es la posibilidad de realizar procesamiento analógico previo a la digitación, a través de la modificación de contraste, brillo, control de astigmatismo y amplificación; incrementando el alcance del procesamiento digital.

La limitación que presenta la microscopía electrónica de barrido para la aplicación de PDI, está relacionada principalmente al tipo de muestras que se pueden observar, pues por un lado las dimensiones no pueden ser mayores de varios centímetros, y por otro, los especímenes, que no son conductores, deben ser cubiertos al alto vacío con capas delgadas de materiales conductores. Esto constituye un obstáculo para el estudio de muestras húmedas o gasificantes ya que éstas contaminan el MEB.

3.2 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMAGENES (PDI)

Para procesar una imagen por computadora debe antes convertirse a una forma numérica, a tal proceso se le denomina digitación. El procedimiento consiste en dividir una imagen en componentes o elementos llamados pixeles (de la contracción del inglés picture element); generados al muestrear y cuantificar las señales de brillantez que componen a una imagen de video, figura 5. Esto produce una serie de números que representan los diferentes niveles de intensidad luminosa de la señal de brillo; los números obtenidos son los valores de los pixeles, que agrupados en arreglos rectangulares permiten la manipulación o transformación de las imágenes captadas. Cada pixel tiene un lugar o dirección específica (renglón, columna) y representa el nivel de gris o color de un punto de la imagen.



La figura 6 muestra el sistema de procesamiento de imágenes utilizado en el Laboratorio de Micromecánica, en el que ante una entrada de control la computadora llama y ejecuta programas de PDI contenidos en la biblioteca del sistema.

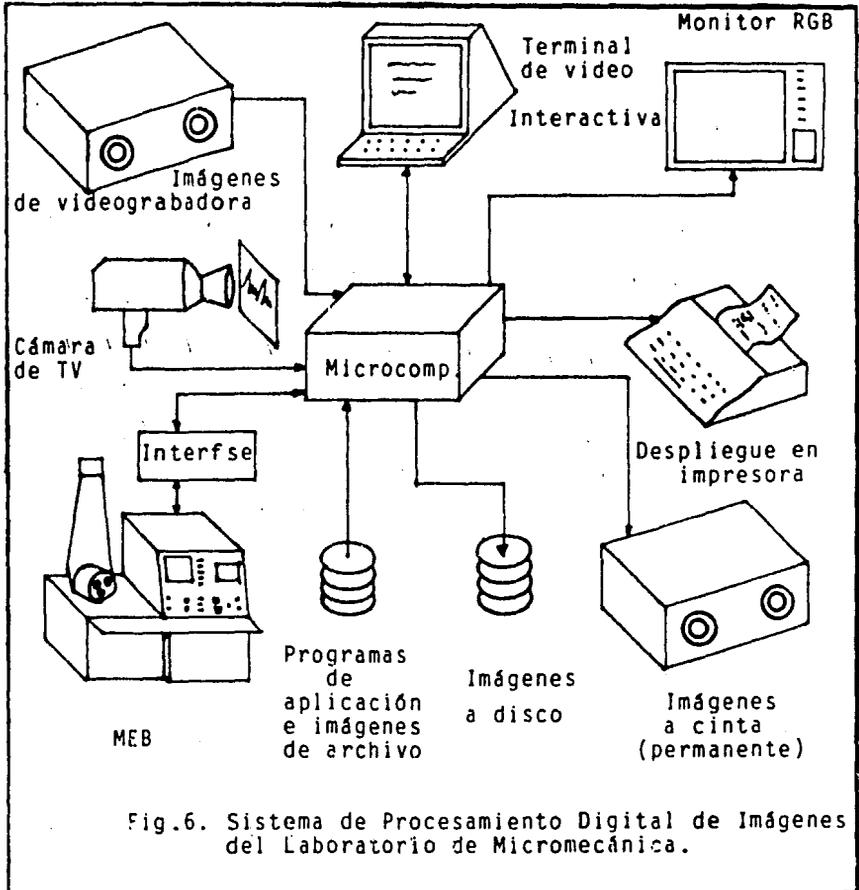


Fig.6. Sistema de Procesamiento Digital de Imágenes del Laboratorio de Micromecánica.

El trabajo con imágenes comprende 2 áreas principales: el análisis digital de imágenes, cuyo objeto es la extracción de datos cuantitativos a partir de la información numérica; y el proceso de imágenes, cuya finalidad es producir versiones modificadas de las imágenes originales, aunque la práctica ha conducido a agrupar ambas ramas bajo el nombre de procesamiento de imágenes.

El análisis de imágenes depende de un digitador de alta calidad (pues los resultados dependen directamente de los datos numéricos almacenados) mientras que el procesamiento de imágenes requiere, además, un monitor de alta resolución para desplegar las imágenes almacenadas y las generadas; esto permite la apreciación y comprobación visual de los resultados.

El trabajo elaborado para esta tesis comprende el desarrollo de programas tanto en el área de análisis, para la extracción automatizada de información relevante en imágenes, como en la de procesamiento, para adecuar, mejorar y enfatizar aspectos importantes en imágenes.

3.3 OPERACIONES ARITMETICAS: SUMA , RESTA MULTIPLICACION Y DIVISION

El mejoramiento digital de imágenes involucra el cambio de los niveles de gris o píxeles. Éste se obtiene en ocasiones por la suma o por la resta de una constante a cada uno de ellos. Tales algoritmos producen cambios en la brillantez de la imagen total.

Al trabajar imágenes de color artificial se pueden cambiar los colores reemplazando el valor de un pixel por otro distinto, permitiendo así la observación de nuevos rasgos.

La manipulación de imágenes, basadas en puntos aislados, es fundamental en la mayor parte de las aplicaciones de PDI y se les conoce como algoritmos de procesamiento de imágenes de clase simple o procesos puntuales. Estos algoritmos tratan a cada punto en forma individual, independientemente de sus vecinos, aplicándoles operaciones idénticas, ya sean aritméticas o lógicas. Su objetivo es aumentar el contraste de la imagen.

El trabajo de ésta y las dos secciones siguientes se enfoca a la descripción de procesos puntuales.

En la actualidad, los mejores sistemas de PDI han incorporado muchos de los procesos puntuales en sus diseños electrónicos; en nuestro caso, estas operaciones se efectúan por medio de programas. La ecuación general de un proceso

puntual es:

$$S(X,Y) = F (I(X,Y)) \quad \dots(1)$$

donde: S = arreglo de salida de la imagen.
F = función que mapea la imagen de entrada en la imagen de salida.
I = imagen compuesta por puntos (x,y).
X,Y = coordenadas de los pixeles de entrada y de salida.

En la ecuación (1), todos los pixeles de la imagen de entrada se procesan a través de la función F, para producir la imagen de salida.

La brillantez de cualquier imagen se podrá incrementar o decrementar al sumar algebraicamente una constante "C" a cada pixel de la imagen, es decir:

$$S (X,Y) = (I) (X,Y) +/- C \quad \dots(2)$$

De la misma forma en que se aplican funciones algebraicas a imágenes, es posible efectuar operaciones aritméticas entre éstas. Por ejemplo, cuando se observa a un material durante un proceso deformatorio -a través del MEB- se pueden obtener microdesplazamientos restando dos micrografías, tomadas antes y después de la aplicación de una carga pequeña. Cuando se restan imágenes se observa que las partes que permanecen fijas, con el mismo tono, se anulan; en tanto que las partes desplazadas se acentúan, permitiendo la cuantificación de microdesplazamientos de una manera sencilla, figura 7.

Entre las aplicaciones de la suma de imágenes está la eliminación del ruido de fondo, causada por el digitador al capturar objetos mediante cámaras de video o por mal afocamiento de la imagen. En las figuras 8a y 8b se muestra el promedio de varias imágenes, utilizado para mejorar la definición del cuadro original. Los procesos puntuales se han utilizado en micromecánica para modificar el contraste y el brillo de las imágenes de MEB.

Utilizando procesos puntuales, el contraste se puede incrementar al multiplicar cada pixel por una constante "C":

$$S (X,Y) = (I) (X,Y) \cdot C \quad \dots(3)$$

Similarmente, la división decrementará el rango dinámico de niveles de gris y del contraste.

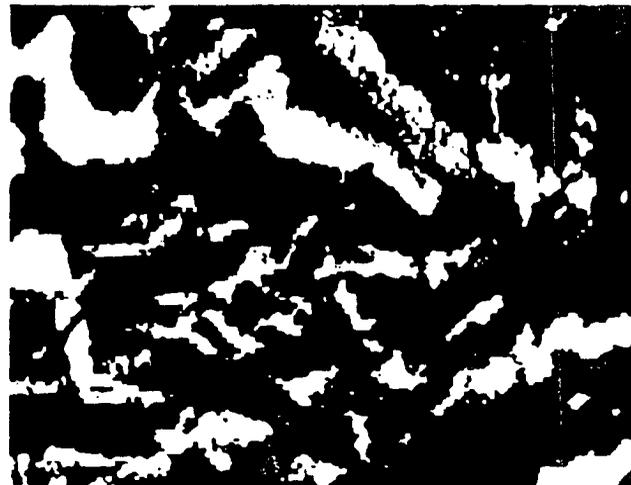


Figura 7

(a)

(b) (c)

7a- Imagen original (micrografia de una arcilla).

7b- Muestra sometida a traslación y rotación por una carga aplicada.

7c- Resta de las imágenes (a) y (b).



(a)



(b)

Figura 8. (a) Imagen original.
(b) Promedio de imágenes.

Las técnicas anteriores permiten hacer un mejoramiento de contraste interactivo, en donde el resultado obtenido depende de la experiencia del usuario, para idear la operación que mejorará a la imagen en estudio.

Existen otros métodos que eliminan la participación y responsabilidad del usuario al momento de realizar mejoramientos de contraste; uno de ellos es la técnica de Linearización de Histogramas.

La técnica consiste en calcular una serie de vectores con los cuales se obtiene una función de transformación, para reasignar valores en los pixeles de la imagen, refs.2-5.

Pasos de la técnica:

- 1) Se calcula un vector \bar{A} , en el que se incluyen las probabilidades de aparición (P_a) para cada uno de los pixeles de la imagen. Esto equivale a obtener el histograma de la misma en forma de vector, dividido entre el número total de pixeles,

$$P_a(p_k) = \frac{n_k}{n} \quad k=0,1,2,\dots,m \quad \dots(4)$$

donde "m" es el número de niveles de gris manejados por el digitador.

- 2) A partir de \bar{A} se calcula un vector acumulativo \bar{B} , cuyos elementos S_k se obtienen sumando progresivamente los datos del vector de probabilidad, es decir:

$$S_k = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n} = \sum_{i=0}^k P_a(p_k) \quad \dots(5)$$

$$k = 0,1,2,\dots,m$$

- 3) Lo que sigue es una normalización, para aproximar los resultados a los valores discretos de niveles de gris del digitador. Para nuestro caso, de 16 tonos, las aproximaciones serían a $1/16, 2/16, \dots, 16/16$. Con lo cual se obtiene el vector \bar{C} .
- 4) Finalmente se reasignan los pixeles de la imagen utilizando los vectores \bar{A}, \bar{B} y \bar{C} , con lo cual se obtiene la linearización del histograma.

En las figuras 9 y 10 se muestran cambios de contraste obtenidos mediante las operaciones anteriores.



Figura 9

(a)

(b) (c)

9a- Imagen original (micrografia de una arena).

9b- Modificación del brillo de la imagen por la suma de una constante.

9c- Modificación de la brillantez por la resta de una constante.



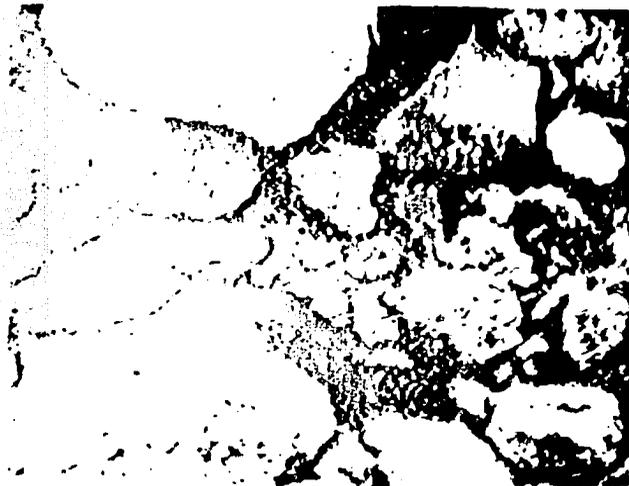


Figura 10

(a)

(b) (c)

10a- Modificación del contraste de la imagen por la multiplicación de una constante.

10b- Modificación del contraste por la división de una constante.

10c- Técnica de linealización de histogramas para obtener mejoramiento automático de contraste.

El tipo de operaciones descrito tiene gran variedad de aplicaciones, ya sean a nivel microscópico (lo cual constituye una línea de investigación particularmente amplia) o a nivel macroscópico (donde se utiliza, por ejemplo, en visión industrial, para detectar movimientos o alteraciones de objetos durante su manufactura) refs.4.5 y 6.

Para información acerca de la programación de estas operaciones, se recomienda consultar el apéndice C.

3.4 OPERACIONES LOGICAS: AND, OR, NOT y OR EXCLUSIVA

Otro grupo de transformaciones muy útiles en PDI son las operaciones lógicas. Este tipo de función permite la separación, la inclusión o la identificación de rasgos relevantes en imágenes. Una de sus características es el trabajar con imágenes binarias -2 tonos únicamente- sin embargo, en el laboratorio se han utilizado de forma más amplia en combinación con algunas operaciones de la sección anterior.

La diferencia de estas operaciones con las de la sección anterior radica en la función de mapeo que ahora es una función lógica, cuyo comportamiento se define a través de tablas de verdad. Para la función AND, OR, NOT y XOR, se tienen las siguientes tablas, muy conocidas.

----- X i Y i AND -----	----- X i Y i OR -----	----- Y i NOT -----	----- X i Y i XOR -----
0 i 0 i 0	0 i 0 i 0	0 i 1	0 i 0 i 1
0 i 1 i 0	0 i 1 i 1	1 i 0	0 i 1 i 0
1 i 0 i 0	1 i 0 i 1	-----	1 i 0 i 0
1 i 1 i 1	1 i 1 i 1		1 i 1 i 1
-----	-----		-----

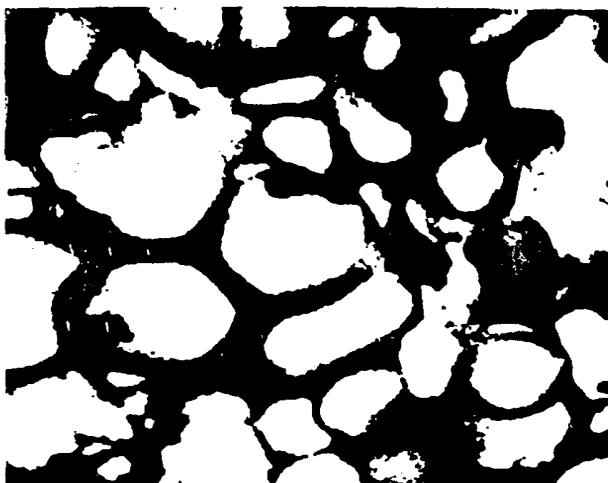
Este tipo de operaciones se aplican sobre grupos de píxeles que rodean al píxel analizado. Entre los procesos más útiles que involucran a píxeles adyacentes, están la convolución y los filtros, que veremos más adelante.

La operación NOT aplicada a imágenes proporciona el complemento del cuadro original, es decir, los detalles claros de la imagen original aparecerán oscuros en el cuadro negado y viceversa. En la figura 11 se muestran ejemplos de la operación negación. Como puede observarse, la información visual ofrecida por imágenes complementarias, posibilita una mejor interpretación de los objetos contenidos en imágenes, y además, permite aplicar algoritmos de proceso distintos.

Cuando se trabaja con cuadros en alto contraste, la aplicación de la operación XOR proporciona la definición de



(a)



(b)

Figura 11. (a) Imagen original.
(b) Operación de negación.

perímetros en los objetos, o sea, establece los contornos.

La morfología matemática usada por G. Matheron y J. Serra, de la Ecole des Mines; les ayudó a crear un sistema de PDI para el análisis de texturas de muestras mineralógicas. La morfología matemática es útil para aislar y filtrar puntos individuales, lo cual se logra aplicando una secuencia de transformaciones a píxeles vecinos; específicamente se realiza una serie de operaciones conocidas como erosiones, seguida de otras llamadas dilataciones. En la siguiente expresión se muestra una secuencia de erosión a 2 pasos:

$$SE = (I \ominus V1) \ominus V2 \quad ..(6)$$

donde: I = imagen original.
⊖ = operación de erosión.
V1= ventana de búsqueda 1.
V2= ventana de búsqueda 2.

Las ventanas o máscaras son arreglos de píxeles. La operación consiste en superponer la máscara en regiones de la imagen por analizar, realizando operaciones AND entre los 2 conjuntos. A estas ventanas se les denomina también como elementos estructurales. El resultado de los dos pasos de erosión es la imagen SE.

La función de dilatación se aplica de forma análoga, aplicando a la imagen I los mismos elementos estructurales V1 y V2, pero ahora mediante la operación OR. Algebraicamente se tiene:

$$ID = (I \oplus V2) \oplus V1 \quad ..(7)$$

donde: ⊕ = operación de dilatación.

La aplicación de estas operaciones de grupo ayuda a resolver problemas de inspección y análisis de movimiento, muy utilizadas en visión robótica, refs.3,4 y 6.

El filtrado digital puede transformar una imagen definida en tonos de gris, en otra cuyos objetos se encuentran delimitados, listos para el análisis con algoritmos de reconocimiento de objetos, como el que se presenta en la sección 8.

Se mencionó que las operaciones puntuales se utilizan para mejorar el contraste de imágenes, pues bien, las operaciones entre píxeles vecinos se usan para realizar mejoramientos espaciales y constituyen herramientas esenciales para el trabajo con PDI

Para variar la información espacial contenida en una

imagen, se toman en cuenta las propiedades informativas de pixeles adyacentes. Cuando los pixeles de una región dada varían en brillantez, se dice que se tiene una frecuencia espacial alta. Por lo que al reducir la frecuencia espacial de una región, se logra una reducción del contraste y se mejoran los detalles borrosos. Esto se logra al promediar pixeles adyacentes, para así determinar el valor de brillantez en un punto dado.

Si se requiere realzar la visibilidad de los detalles en una imagen, se debe incrementar el contraste "local", para acentuar así los cambios de brillantez entre pixeles vecinos. Utilizando las mismas variables de la ecuación (1), la ecuación para procesos de grupo entre 8 pixeles vecinos y el pixel en cuestión, es la siguiente:

$$S(X,Y) = CC1(I(X-1,Y-1)) + CC2(I(X,Y-1)) + CC3(I(X+1,Y-1)) + CC4(I(X-1,Y)) + CC5(I(X,Y)) + CC6(I(X+1,Y)) + CC7(I(X-1,Y+1)) + CC8(I(X,Y+1)) + CC9(I(X+1,Y+1)).$$

(8)

Para propósitos de cómputo las 9 funciones de mapeo se combinan en una tabla o máscara; CC1 a CC9 son los coeficientes de la máscara -o coeficientes de convolución-, cuyos valores se hacen variar para obtener la convolución deseada. Por ejemplo, una convolución pasa bajas puede utilizar una máscara de coeficientes igual a 1/9:

$$S(X,Y) = 1/9(I(X-1,Y-1)) + 1/9(I(X,Y-1)) + 1/9(I(X+1,Y-1)) + 1/9(I(X-1,Y)) + 1/9(I(X,Y)) + 1/9(I(X+1,Y)) + 1/9(I(X-1,Y+1)) + 1/9(I(X,Y+1)) + 1/9(I(X+1,Y+1)).$$

(9)

El coeficiente del centro es el pixel de la imagen de entrada, cuyo valor quedará determinado en la imagen de salida. Para obtener la imagen de salida se multiplica el valor de brillantez de cada pixel -contenido en el arreglo de 3 X 3- por su coeficiente de máscara y la suma promedio de los productos es el valor de salida. Sin embargo, este tipo de operación resulta más eficiente al trabajar con imágenes de un gran número de tonos de gris, pues como se nota, el proceso de multiplicación de coeficientes, es más eficiente al estratificar valores grandes de nivel de gris.

Otro de los problemas que se presentan al aplicar una convolución es el tiempo de proceso, pues cada pixel de la imagen requiere de 9 sumas y 9 productos. Una imagen del laboratorio, usualmente consta de 65,025 puntos y requiere de 5,267,025 operaciones aritméticas por convolución, por lo que se tienen algoritmos que consumen bastante tiempo. Esta es la razón para que los modernos digitadores desarrollen

estas operaciones electrónicamente.

Para hacer un filtro pasa altas se utiliza la siguiente máscara:

$$S(X,Y) = -1 \begin{pmatrix} I(X-1,Y-1) & -1 & I(X,Y-1) & -1 & I(X+1,Y-1) \\ I(X-1,Y) & +9 & I(X,Y) & -1 & I(X+1,Y) \\ I(X-1,Y+1) & -1 & I(X,Y+1) & -1 & I(X+1,Y+1) \end{pmatrix} -$$

(10)

Los filtros pasa altas acentúan componentes de alta frecuencia y su efecto principal es resaltar los contornos de los objetos, mientras que dejan intactos los restantes valores de gris. Debe notarse que los coeficientes de la máscara suman 1, así como en el ejemplo de filtro paso bajo, esto produce que los valores de brillo con componentes espaciales de baja frecuencia no se alteren.

En cuanto al mejoramiento de bordes, hay 3 tipos de filtros digitales conocidos: el Laplaciano, el gradiente y el de traslado-diferencia, los cuales se utilizan en micromecánica para el mejoramiento de imágenes restadas y como paso previo a la detección de objetos.

Como se apreció en la sección de operaciones aritméticas, al restar imágenes se obtiene una serie de patrones de movimiento que se procesan para cuantificar densidades de desplazamientos. De forma similar, para detectar objetos en imágenes, se trabaja con cuadros de contraste resaltado, que presentan patrones similares. Al realizar el análisis de estas imágenes se aplican antes los procesos de filtrado para lograr el realce de objetos.

El método de traslado y diferencia es el más sencillo y permite lograr una mejor definición en los contornos horizontales y verticales de una imagen. Para procesar los contornos verticales se restan, punto a punto, la imagen original y una copia trasladada hacia la izquierda en un pixel. Las áreas de la imagen que tienen brillo uniforme se cancelarán, tornándose oscuras, en tanto que las regiones de transición aguda se convierten en áreas claras. Se obtendría lo mismo si los pixeles se corrieran a la derecha. Para resaltar los contornos horizontales se efectúa un corrimiento de la imagen en un pixel, ya sea hacia arriba o hacia abajo y se aplica nuevamente la resta.

El mejoramiento mediante esta técnica también se puede desarrollar a través de una convolución, con la ventaja de que se pueden detectar los contornos horizontales y los verticales al mismo tiempo. La siguiente máscara permite detectar cambios de brillo de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo:

$$S(X,Y) = \begin{matrix} -1 & (I(X-1,Y-1)) & + & 0 & (I(X,Y-1)) & + & 0 & (I(X+1,Y-1)) & + \\ 0 & (I(X-1,Y)) & + & 1 & (I(X,Y)) & + & 0 & (I(X+1,Y)) & + \\ 0 & (I(X-1,Y+1)) & + & 0 & (I(X,Y+1)) & + & 0 & (I(X+1,Y+1)) & \end{matrix}$$

(11)

En la figura 12 se muestran imágenes mejoradas utilizando estas técnicas.

La operación de gradiente permite definir cambios de bordes en una de ocho direcciones cardinales. La máscara que sigue permite realizar mejoramiento en transiciones negro a blanco, ocurriendo éstas de Este a Oeste:

$$S(X,Y) = \begin{matrix} 1 & (I(X-1,Y-1)) & + & 1 & (I(X,Y-1)) & - & 1 & (I(X+1,Y-1)) & + \\ 1 & (I(X-1,Y)) & - & 2 & (I(X,Y)) & - & 1 & (I(X+1,Y)) & + \\ 1 & (I(X-1,Y+1)) & + & 1 & (I(X,Y+1)) & - & 1 & (I(X+1,Y+1)) & \end{matrix}$$

(12)

En la figura 13 se presenta el tratamiento realizado a una imagen de mineral caolín.

El laplaciano permite revelar bordes en todas direcciones. Su estructura es parecida a la del filtro paso alto, con la diferencia de que aquí los coeficientes suman cero en vez de uno:

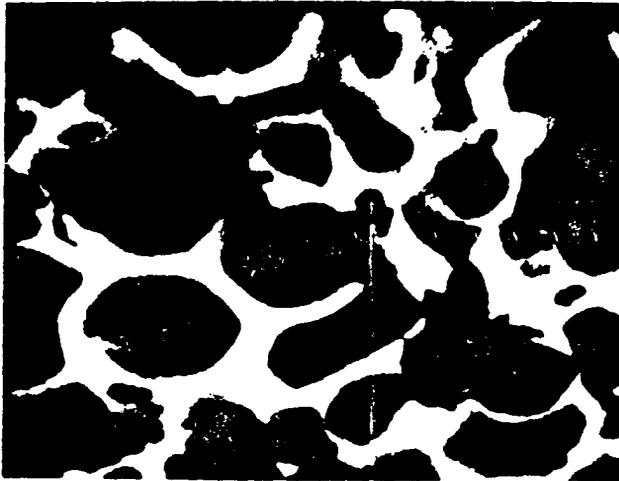
$$S(X,Y) = \begin{matrix} -1 & (I(X-1,Y-1)) & - & 1 & (I(X,Y-1)) & - & 1 & (I(X+1,Y-1)) & - \\ 1 & (I(X-1,Y)) & + & 8 & (I(X,Y)) & - & 1 & (I(X+1,Y)) & - \\ 1 & (I(X-1,Y+1)) & - & 1 & (I(X,Y+1)) & - & 1 & (I(X+1,Y+1)) & \end{matrix}$$

(13)

La suma con valor cero, como en el caso de las operaciones de traslado-resta y gradiente, produce que las regiones de bajo contraste se tornen oscuras. Por lo tanto estas máscaras eliminan los tonos de gris y dejan en blanco los lugares donde ocurren cambios agudos de brillantez, o sea los bordes, figura 14. Este filtrado se utiliza en Micromecánica, después de la operación alto contraste, para definir los contornos de objetos, generando una imagen apropiada para aplicarle programas de análisis.

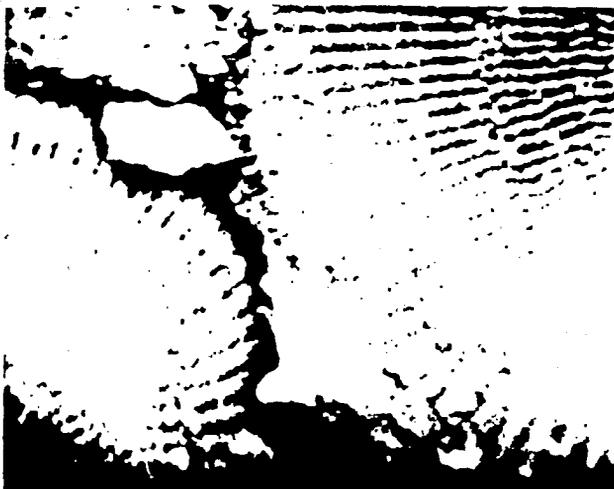


(a)

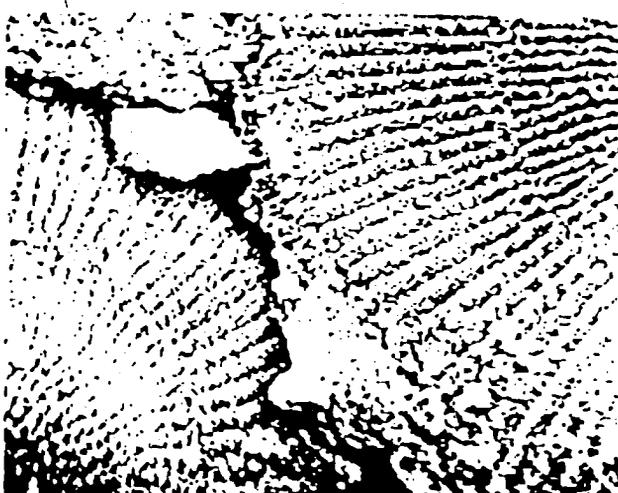


(b)

Figura 12. (a) Original, micrografía de pómez volcánica.
(b) Filtrado paso bajas.



(c)



(d)

Figura 12. (c) Original, micrografía de un fósil (diatomea).

(d) Filtrado paso altas.



(e)



(f)

Figura 12. (e) Original, micrografía de una arena.

(f) Operación de traslado y diferencia.

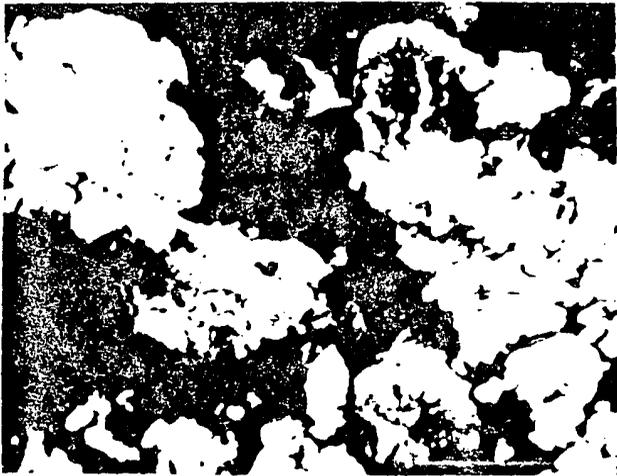
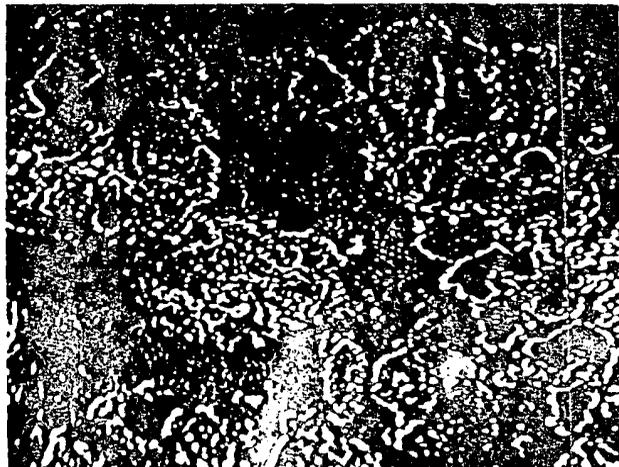
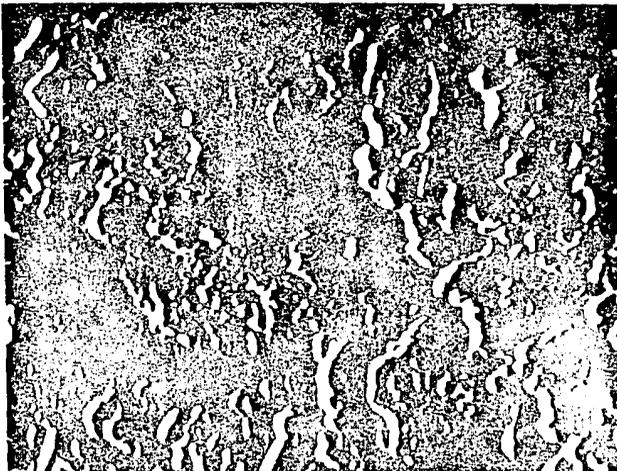


Figura 13

(a) Original, micrografía de una arcilla.
(b) Operación de gradiente.

Figura 14. Laplaciano.



3.5 ALTO CONTRASTE, CONTORNOS Y AMPLIFICACION

El análisis de objetos en imágenes se facilita cuando éstos se encuentran separados de la información de fondo. La técnica para lograrlo es la operación de alto contraste, que transforma cuadros de niveles de gris en imágenes binarias.

Desde el punto de vista tridimensional, equivale a efectuar un corte con un plano paralelo a la base de la imagen, seguida de dos decisiones: las regiones localizadas por arriba del plano se definirán como tonos brillantes -blanco-, en tanto que las situadas por debajo del plano se convertirán en una región oscura -negro-. El alto contraste elimina las variaciones paulatinas de la señal y acentúa los cambios bruscos en la señal de salida. El programa utilizado para esta operación envía primeramente, a la pantalla del usuario, el análisis de los píxeles de la imagen, para tener así una base analítica al obtener el alto contraste. En la figura 15 se muestra la operación de alto contraste aplicada a una micrografía de MEB.

A partir de señales en alto contraste, es posible obtener los perímetros que definen a objetos contenidos en un cuadro. Para esto se aplica alguna de las siguientes técnicas: el filtrado con la operación OR Exclusiva, la operación de traslado-resta, el laplaciano o una combinación de las técnicas anteriores utilizando la operación OR. En la figura 16 se muestra la imagen de contornos de la figura 15.

Durante la exploración por microscopía electrónica, es común la inspección detallada de la muestra en estudio. Esto se logra mediante la reducción controlada del barrido del haz de electrones sobre la muestra. Sin embargo, cuando se tienen imágenes digitadas, se debe ejecutar una amplificación digital de los puntos de interés. Para realizarlo se aplica una máscara unitaria de longitud variable, que depende de la magnitud de amplificación requerida, es decir, la repetición del valor de un pixel a lo largo de la máscara definida. En la figura 17 se muestra la amplificación del detalle de una imagen.

3.6 INDICES DE POROSIDAD, DENSIDAD DE GRIETAS EN SUELOS E HISTOGRAMAS

En el Laboratorio de Micromecánica se realiza investigación con materiales de naturaleza discontinua. De acuerdo a sus características, existen algunos con estructura más continua, como los metales, en tanto que hay otros que presentan cavidades y conexiones estructurales, como en el caso de rocas y suelos. Cuando se trabaja con éstos últimos, es útil establecer los porcentajes de área ocupada por el

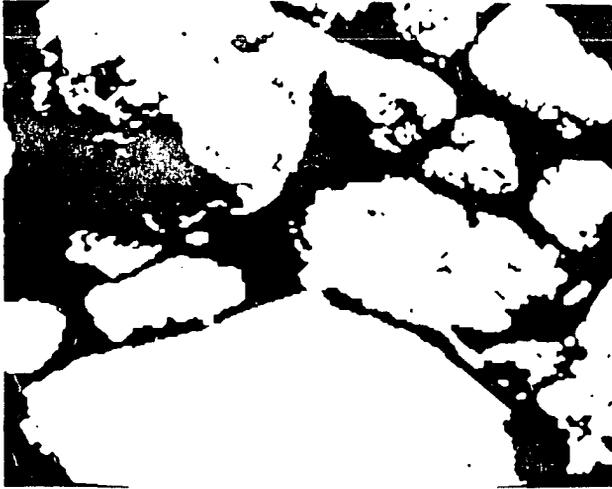


Figura 15. Operación de alto contraste aplicada a la imagen de la figura 12e.

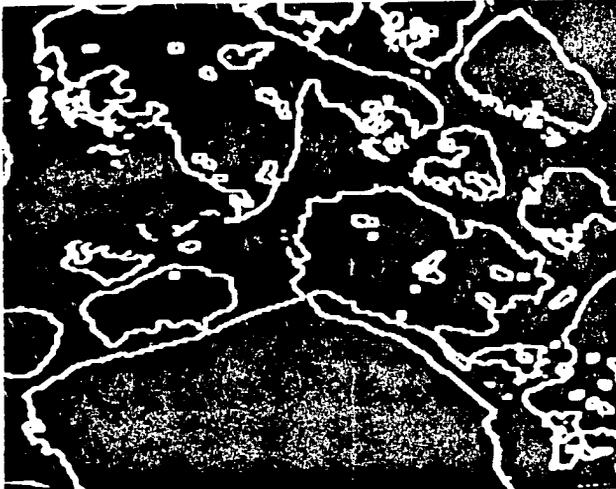
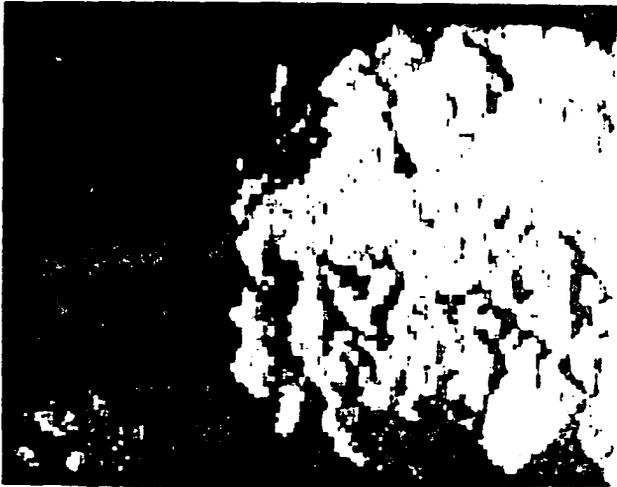


Figura 16. Obtención de contornos aplicando el laplaciano a la imagen de la figura 15.



(a)



(b)

Figura 17. (a) Original, micrografía de una arcilla.

(b) Amplificación de un detalle de la imagen 17a.

material o bien por los poros interparticulares. Adicionalmente, en la mecánica de medios porosos, tanto el área como la forma de los poros -cuando se analizan estadísticamente- conducen a la determinación de índices de permeabilidad.

Para el análisis de índices de porosidad, se extrae información de imágenes en las que ya se ha practicado el alto contraste, aunque también se pueden obtener resultados al usar imágenes con niveles de gris, pues éstas proporcionan además información de detalles específicos en la superficie del material. Los resultados mejoran al asignar colores sintéticos que facilitan la determinación de áreas de importancia específica.

Los porcentajes de niveles de gris de una imagen, se obtienen a partir de la cuenta de píxeles de la misma intensidad y los resultados se pueden expresar numéricamente y/o cualitativamente con la ayuda de histogramas.

En la figura 18 se muestra una micrografía de una pómez de origen volcánico, allí se puede observar una superficie de falla, en la cual, las cavidades se distribuyen aleatoriamente, por lo que se considera que los poros mostrados son representativos de todo el material. En la tabla anexa se muestran los valores de las áreas ocupadas por los diferentes tonos; de esta forma se evalúa el área ocupada por diferentes rasgos del cuadro. Al realizar el proceso anterior en varias regiones del material en estudio, se puede cuantificar estadísticamente la relación de vacíos del material, con mayor precisión y rapidez que el método del hidrómetro, clásico en mecánica de suelos.

Otra aplicación de los procesos de PDI anteriores, es la cuantificación de grietas en suelos. En la figura 19a se observa un material con grietas. En la secuencia de figuras mostrada se describe el procedimiento utilizado para filtrar la información indeseable y llegar así, a una imagen en alto contraste que resalta y permite el análisis de las grietas. Nuevamente, los histogramas se utilizan como una fuente rápida de información visual durante el análisis de densidades, en este caso grietas.



(a)

SH

SE EFECTUO CONTEO DE TONOS

PORCENTAJE DE TONO 0 =	15
PORCENTAJE DE TONO 1 =	29
PORCENTAJE DE TONO 2 =	25
PORCENTAJE DE TONO 3 =	9
PORCENTAJE DE TONO 4 =	0
PORCENTAJE DE TONO 5 =	3
PORCENTAJE DE TONO 6 =	6
PORCENTAJE DE TONO 7 =	0
PORCENTAJE DE TONO 8 =	3
PORCENTAJE DE TONO 9 =	3
PORCENTAJE DE TONO 10 =	3
PORCENTAJE DE TONO 11 =	2
PORCENTAJE DE TONO 12 =	0
PORCENTAJE DE TONO 13 =	0
PORCENTAJE DE TONO 14 =	0
PORCENTAJE DE TONO 15 =	16
MEDIA = 26	DESV. ESTANDARD = 38.346
RETORNO DE SUBROUTINA HISGRA	

(b)

Figura 18. (a) Micrografía de pómez de origen volcánico con histograma de tonos.

(b) Listado de tonos.

Figura 19

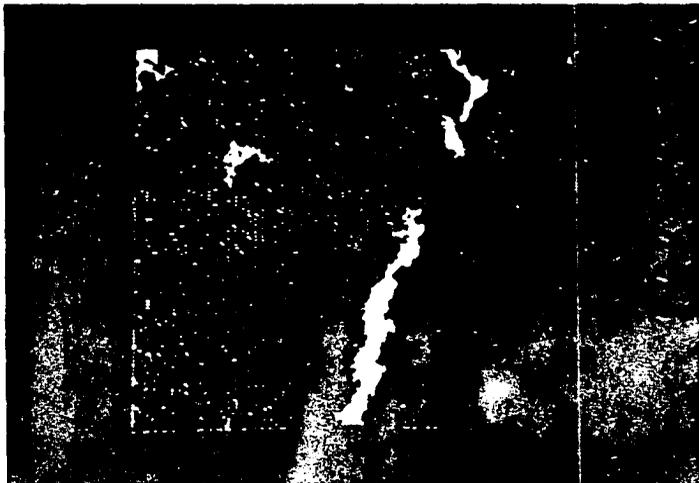
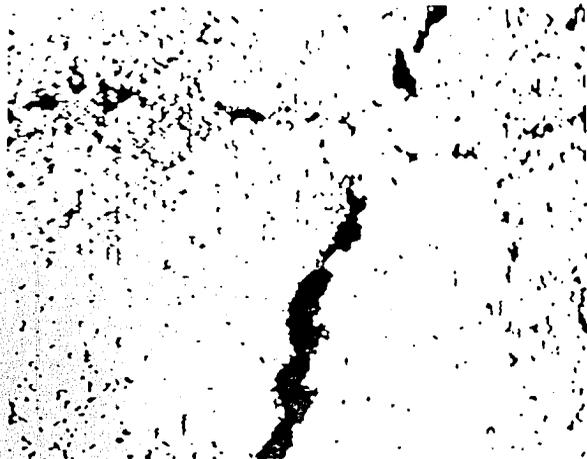
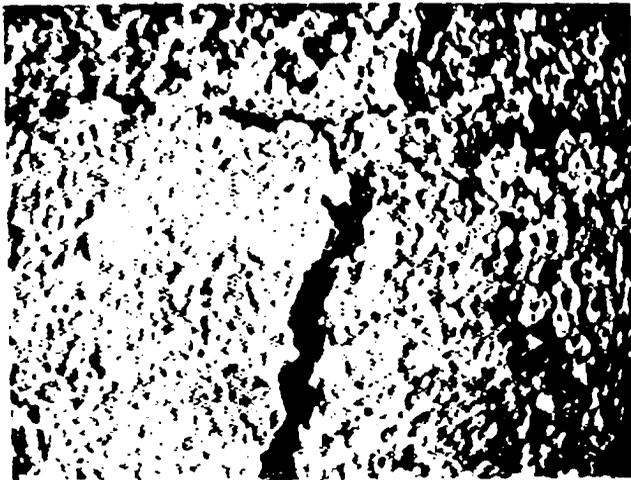
(a)

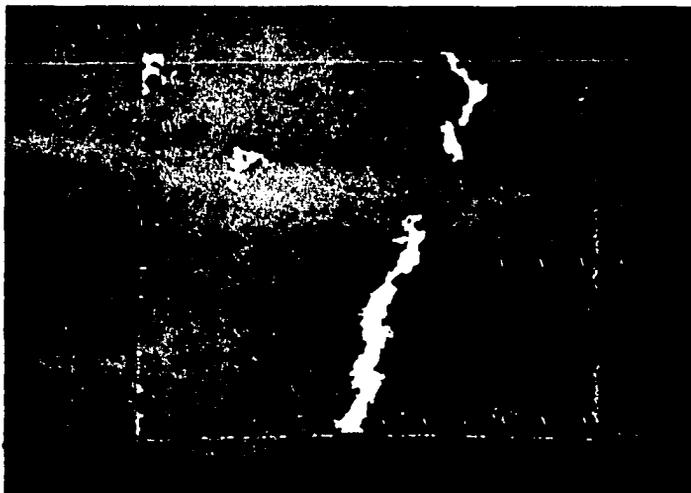
(b) (c)

19a- Micrografía de una arcilla que muestra una zona de fractura debida a la aplicación de una carga de compresión.

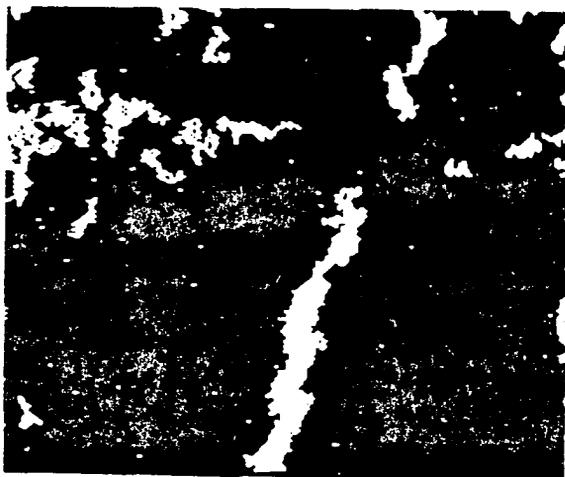
19b- Operación de alto contraste sobre la imagen 19a.

19c- Coloración de partículas por tamaño, aplicada a la imagen 19b.





(d)



(e)

Figura 19. (d) Filtrado digital basado en la eliminación de colores.

(e) Imagen final, donde aparece únicamente la información de las grietas.

Una de las tendencias más recientes y de gran interés en microscopía electrónica, es la evaluación cuantitativa de parámetros estructurales, la cual permite mejorar la calidad de las mediciones en materiales.

El PDI se aplica en Micromecánica para obtener información estructural sobre suelos, tales como la distribución de tamaño de partículas e índices de porosidad, ambos parámetros de gran utilidad en mecánica de materiales.

La distribución del tamaño de partículas finas es de gran interés -en la mecánica de suelos- debido a su relación con el comportamiento del material. El método más utilizado para obtener este parámetro es la hidrometría, con la que se obtienen datos acerca de la velocidad de caída de partículas dentro de un fluido; a partir de esa información se derivan datos para obtener la distribución de tamaños.

Otro parámetro importante en micromecánica es la evaluación del área superficial de los sólidos contenidos en un material. Esta información en combinación con datos mineralógicos de la misma, permiten conocer la capacidad del suelo para adsorber agua y minerales en su estructura, refs. 7 y 8.

Una alternativa para obtener directamente las mediciones anteriores es el uso de la microscopía electrónica, con el apoyo del procesamiento de imágenes.

El primer paso necesario para extraer información cuantitativa de micrografías de MEB es la adquisición de imágenes representativas del material. Esto se logra mediante la exploración de la muestra en estudio, posteriormente se almacenan en serie con la ayuda de un medio de almacenamiento masivo -videograbadora- o directamente con la microcomputadora, utilizando un circuito de acoplamiento, figura 1.

Una vez registrada la información de la muestra, se procede al procesamiento digital de las imágenes. Para esto se aplican programas de mejoramiento de contraste, alto contraste y definición de contornos. En el último paso se reduce a la imagen a su forma binaria, de fondo oscuro y contornos blancos. En seguida se utiliza un programa de reconocimiento o exploración, punto a punto, que rellena con color artificial el interior de los contornos cerrados; realizando al mismo tiempo una suma acumulada de los píxeles recorridos.

Por otro lado, se tiene que el número de píxeles dentro de un contorno cerrado es proporcional a su área ocupada. Con

este principio, el programa estima diámetros de círculos, aproximados al área que ocupan las partículas en estudio; y los almacena en un archivo de computadora, para el cálculo posterior de la distribución estadística de tamaños de partícula.

La secuencia definida por el algoritmo está formada por dos funciones diferentes, la primera se encarga de realizar un barrido en la imagen -para detectar partículas- y la segunda se encarga de analizar el objeto encontrado. La etapa de análisis comienza al localizar un contorno, iniciándose una búsqueda en las direcciones Sur, Este, Norte y Oeste. El algoritmo es recursivo, por lo que al analizar un punto dado, avanzará siempre en la misma dirección y repetirá el análisis.

Como el programa se escribió en lenguaje Fortran, que no facilita el desarrollo de programas recursivos, se utiliza un arreglo -de longitud 3 y profundidad 1500- para almacenar las coordenadas X-Y y el nivel de la operación. Estos datos permiten el regreso del programa al punto inicial, cuando se ha encontrado una partícula cuyo contorno está abierto, o bien, cuando se trate de un punto perdido en la imagen -ruido-.

En la figura 20a se muestra una partícula definida en alto contraste, la línea horizontal es la dirección del barrido en la etapa uno, las flechas indican la dirección de avance, así como el número de operaciones utilizadas para continuar; lo cual se definió anteriormente como nivel de la operación.

En la figura 20b se muestra el contenido del arreglo de datos, cuando se analiza la figura 20a, de acuerdo al comportamiento del algoritmo.

En la figura 21 se da una secuencia de imágenes que muestran el proceso desarrollado para analizar el cuadro original.

Para propósito de la calibración de las mediciones se utiliza la línea de medición del MEB, figura 22, con la cual se relaciona el tamaño de los píxeles y el tamaño real de los objetos en micras.

Como se ha mencionado en secciones anteriores, el uso de color sintético en imágenes permite una visualización rápida de los resultados obtenidos. Tal es el caso de la granulometría automatizada, en donde se utiliza el color para detectar asociaciones de partículas en relación a sus tamaños. El efecto se logra al asignar colores a las partículas de acuerdo a su tamaño, constituyendo un proceso que cuenta con amplias aplicaciones en la ingeniería de materiales. Este es el último programa que se ha desarrollado en auxilio del cálculo automático de diámetros de partículas, el cual, como se verá más adelante, posibilita

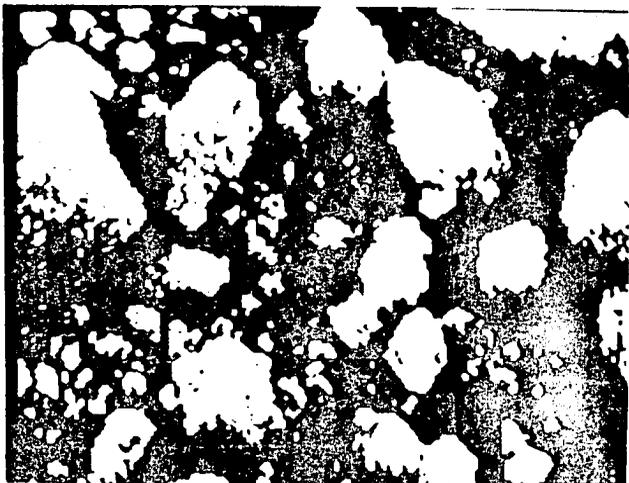
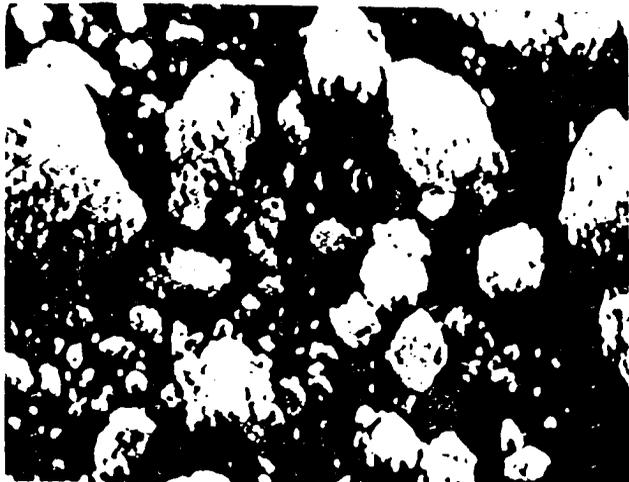
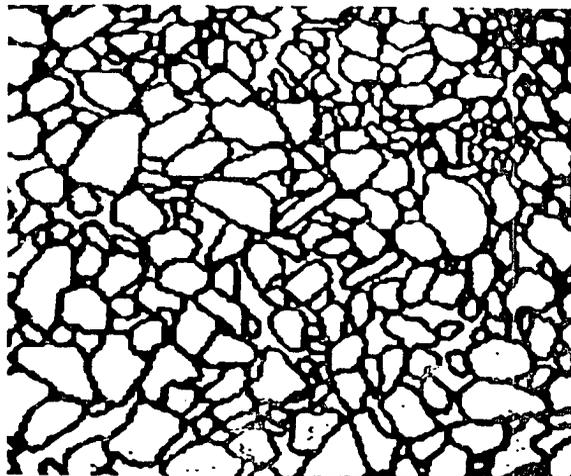


Figura 21. Preparación de imágenes para aplicar el programa de cuantificación automática de diámetros.
(a) Alto contraste de imagen original.
(b) (c) Arena de playa en alto contraste.

21a- Original.

21b- Alto contraste de imagen original.

21c- Arena de playa en alto contraste.



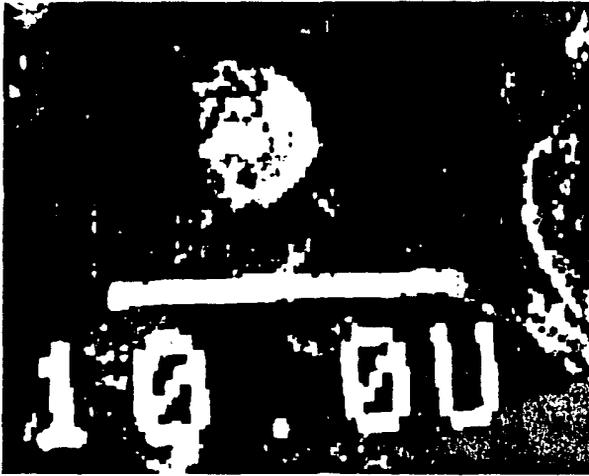


Figura 22. Línea de medición del MEB.

además, el filtrado de ruido en gráficas digitadas.

En la figura 23 se muestra una imagen procesada con el programa anterior.

3.8 FILTRADO OPTODIGITAL

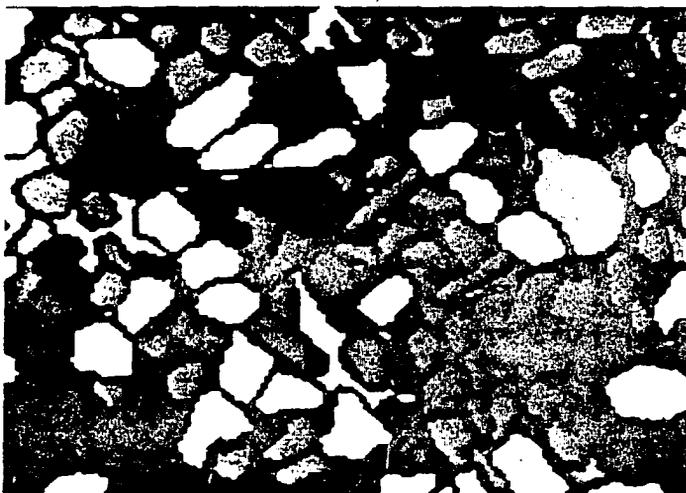
Un problema común en ingeniería es el trabajo con gráficas. Se puede tratar de curvas de cargas, esfuerzos, deformaciones, temperaturas, desplazamientos, o bien de aquellas obtenidas con equipo especializado como sismogramas, electrocardiogramas, electroencefalogramas, difractogramas de rayos-X, espectrogramas en general, etc. Todas ellas tienen en común el proceso de trazado sobre papel y el que se obtienen en grandes cantidades para su análisis posterior.

El PDI constituye una técnica alterna para la extracción de datos cuantitativos en gráficas de papel, así como su proceso. La secuencia se inicia con la digitación de la gráfica, seguida por el mejoramiento de la imagen, para después empezar el análisis y proceso de los datos. Sin embargo, es en los dos últimos pasos donde se encuentra uno de los problemas más grandes para la interpretación de señales en gráficas de papel, pues para iniciar el reconocimiento de curvas debe existir alguna forma de diferenciar la señal y su fondo (que por lo general es un patrón de cuadros cuya presencia facilita la lectura de variables en la gráfica). El mayor problema se encuentra en la intensidad y grosor de la retícula, en relación a la curva trazada, pues son muy parecidas, diferenciándose tan sólo por el color. Este problema sugiere el uso de filtros ópticos para discriminar patrones indeseables y permitir el paso de señales de un sólo color. Con esto se obtendría únicamente el patrón que contiene la información útil.

En la figura 24a se muestra una gráfica digitada sin filtros ópticos, en la figura 24b se tiene una imagen digitada utilizando un filtro de color. En las secuencias siguientes se muestra un cuadro binario en alto contraste, donde se presenta ruido de fondo. Para eliminar el ruido de fondo se utilizó el programa de coloramiento automático de partículas -expuesto en la sección anterior- el cual asigna colores diferentes a las regiones grandes y las pequeñas; posteriormente se aplicó un programa de selección de contraste para eliminar las regiones pequeñas, generándose así, la imagen final que ya es susceptible de ser procesada para reconocimiento y análisis automático.



(a)



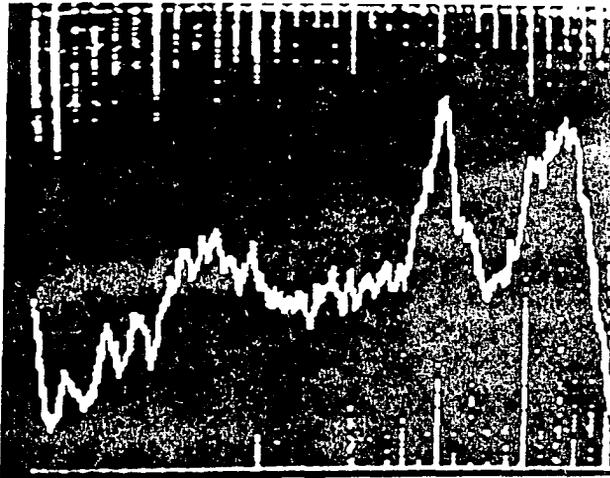
(b)

Figura 23. (a) Coloración de la imagen de la figura 21b.

(b) Coloración de la imagen de la figura 21c.



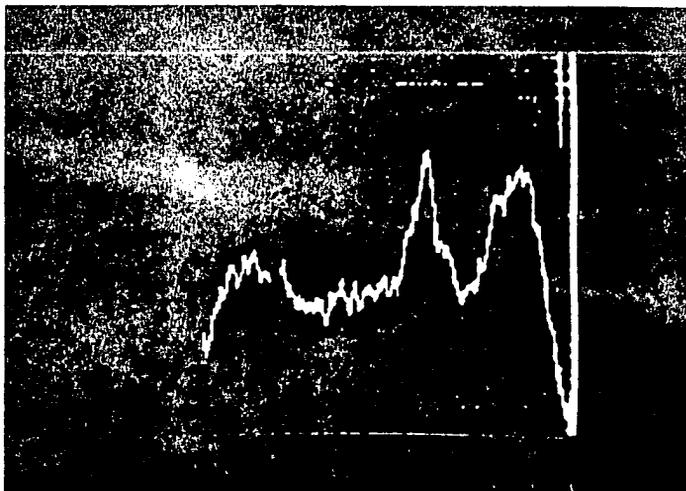
(a)



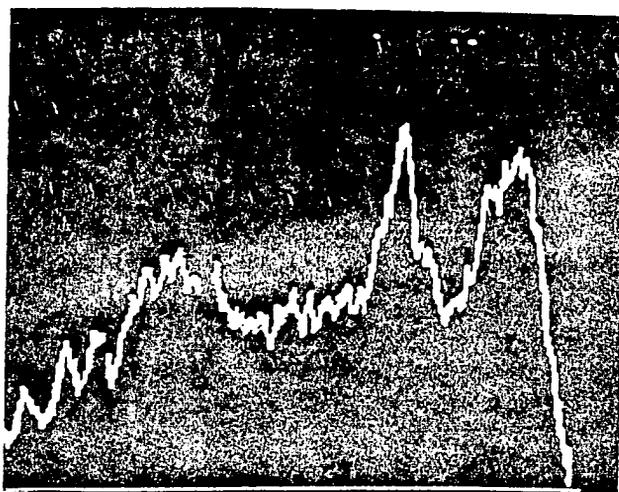
(b)

Figura 24. (a) Original, gráfica digitada.

(b) Digitación con filtro de color y alto contraste.



(c)



(d)

Figura 24. (c) Programa de coloración aplicado a la imagen de la figura 21b.

(d) Imagen final, filtrado digital con base en el color.

3.9 CALCULO DE DESPLAZAMIENTOS EN MATERIALES BAJO COMPRESION

Una de las ventajas de trabajar con el MEB es la posibilidad que se tiene para estudiar materiales a altos niveles de amplificación. A su vez, una de las necesidades clave en el estudio de materiales, es la vinculación del comportamiento mecánico macroscópico con el observado en la microestructura del material, refs. 9 y 10.

Para conducir investigación de esta índole, es menester el análisis de un número representativo de muestras, para asegurar confiabilidad en la estadística y en las conclusiones.

Desde el punto de vista de mecanismos, se requiere de un dispositivo suficientemente pequeño para introducirlo en la cámara de muestras del MEB; con el cual, se puedan aplicar microcargas a una pequeña muestra de material y así observar el proceso deformatario con ayuda del MEB.

La técnica desarrollada en el Laboratorio de Micromecánica, para la medición de desplazamientos, consiste en la conducción del experimento dentro del compartimento de la muestra con la ayuda de un marco de carga, instrumentado para medir carga aplicada y desplazamiento incurrido por la muestra, figura 25.

Con este aparato se aplican los esfuerzos y con el MEB se sigue el proceso deformatario a nivel microscópico. Al mismo tiempo, se almacenan las imágenes en una videogradora para su procesamiento posterior, ref.11.

La extracción de información se obtiene mediante la comparación de imágenes, tomadas en tiempos diferentes del proceso deformatario. Los objetivos son: primero, la identificación de partículas o por lo menos su contorno, y segundo, la medición de sus desplazamientos incurridos. Al realizar este proceso en varias partículas de un cuadro, con varias imágenes de un espécimen, e incluyendo un número representativo de muestras; se obtendrán los datos para el análisis y derivación de conclusiones acerca del comportamiento microestructural de un material.

Es evidente que el realizar tal labor con los métodos tradicionales de medición fotográfica, ésta resultaría tediosa, susceptible a errores, tardada y costosa. Es entonces donde el procesamiento digital de imágenes toma relevancia para la solución de problemas involucrados con medición de parámetros estadísticos en imágenes.

El procesamiento de datos se inicia con la resta de dos imágenes procedentes de dos tiempos cercanos (t_0 y t_1) del proceso deformatario, el resultado se muestra en la figura 4. Lo que sigue es un mejoramiento de la imagen, para después

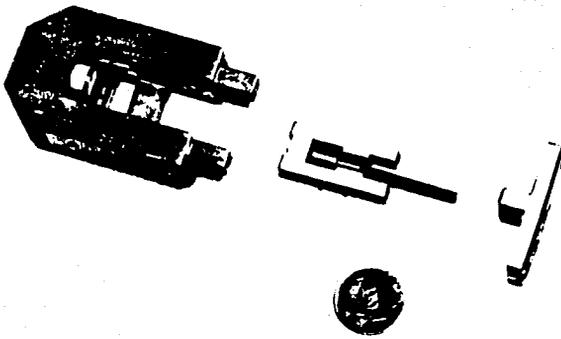


Figura 25. Marco de carga utilizado para fallar muestras en el interior del MEB.

aplicar un programa de análisis de densidades en cada región de las indicadas en la imagen reticulada, figura 26. Los resultados obtenidos se almacenan en archivos para después realizar el procesamiento de todos los casos -imágenes- obtenidos en las pruebas. En otros informes y foros se discute sobre el valor -dentro de la mecánica- de los resultados novedosos obtenidos con este instrumental. refs.9-11.

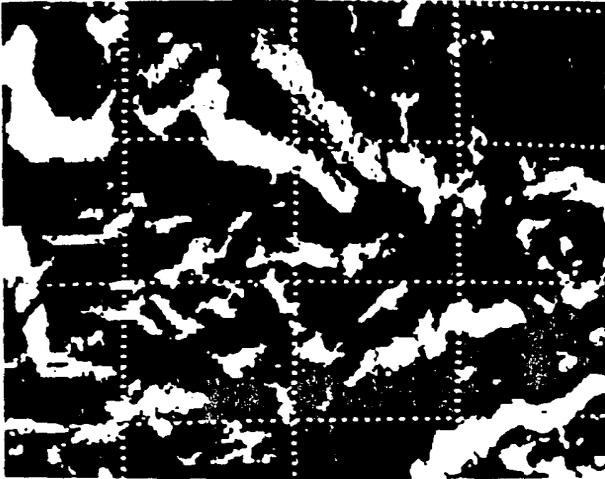


Figura 26. Resta de imágenes con retícula.

En las secciones anteriores se describieron las características del equipo de procesamiento de imágenes, utilizado en el Laboratorio de Micromecánica, y se hizo referencia a los programas de aplicación elaborados. Durante las explicaciones se mencionó el número de píxeles utilizados, sin embargo, se pasó por alto, deliberadamente, la posibilidad de mejorar la riqueza de la información obtenida con el MEB. En efecto, en el caso del PDI de MEB, es notoria la pérdida de información al capturar cuadros con la limitación del digitador, que es de 255 líneas compuestas por 255 puntos.

Las imágenes de alta resolución se obtienen al operar el MEB con barridos lentos y están compuestas por un número variable de líneas. Sin embargo, como también se mencionó, este tipo de barrido no es compatible con la norma NTSC, por lo cual no pueden capturarse estas imágenes con el digitador.

Una forma de solucionar el problema de adquisición de imágenes de alta resolución, consiste en la utilización de un convertidor A/D para digitalizar las líneas de brillantez de una imagen. Sin embargo aparecen una serie de problemas: la sincronización para iniciar los ciclos de lectura de píxeles, el distanciamiento entre los píxeles leídos y el más importante, el almacenamiento; pues aunque se trabaje con barridos lentos, la relación entre el barrido horizontal y el tiempo requerido para almacenar datos en disco no es satisfactoria.

Debido a las anteriores restricciones, se optó por controlar digitalmente -con la microcomputadora- tanto el barrido sobre la muestra como aquél utilizado para mostrar imágenes en la pantalla del MEB. El convertidor D+7A, de la figura 27a, se utiliza para generar las rampas de los barridos horizontal y vertical.

El mayor problema enfrentado en el desarrollo de la interfase fue la generación de rampas mayores de 255 saltos, pues el convertidor utilizado sólo cuenta con 8 bits que generan como máximo 255 pasos. La estructura diseñada para utilizar los convertidores como si fueran de 9 o más bits se muestra en la figura 27b. Como puede observarse, se cuenta con 2 salidas analógicas por cada señal de barrido generado, una se usa para producir de 0 a 255 escalones en forma permanente, en tanto que la otra establece los saltos de voltaje que equivalen cada uno a los 255 pasos de la primera etapa; esto permite la generación de barridos de 255, 512, 1024, etc, líneas.

Una de las grandes ventajas que se tienen al controlar el barrido del MEB, es la posibilidad de detenerlo durante

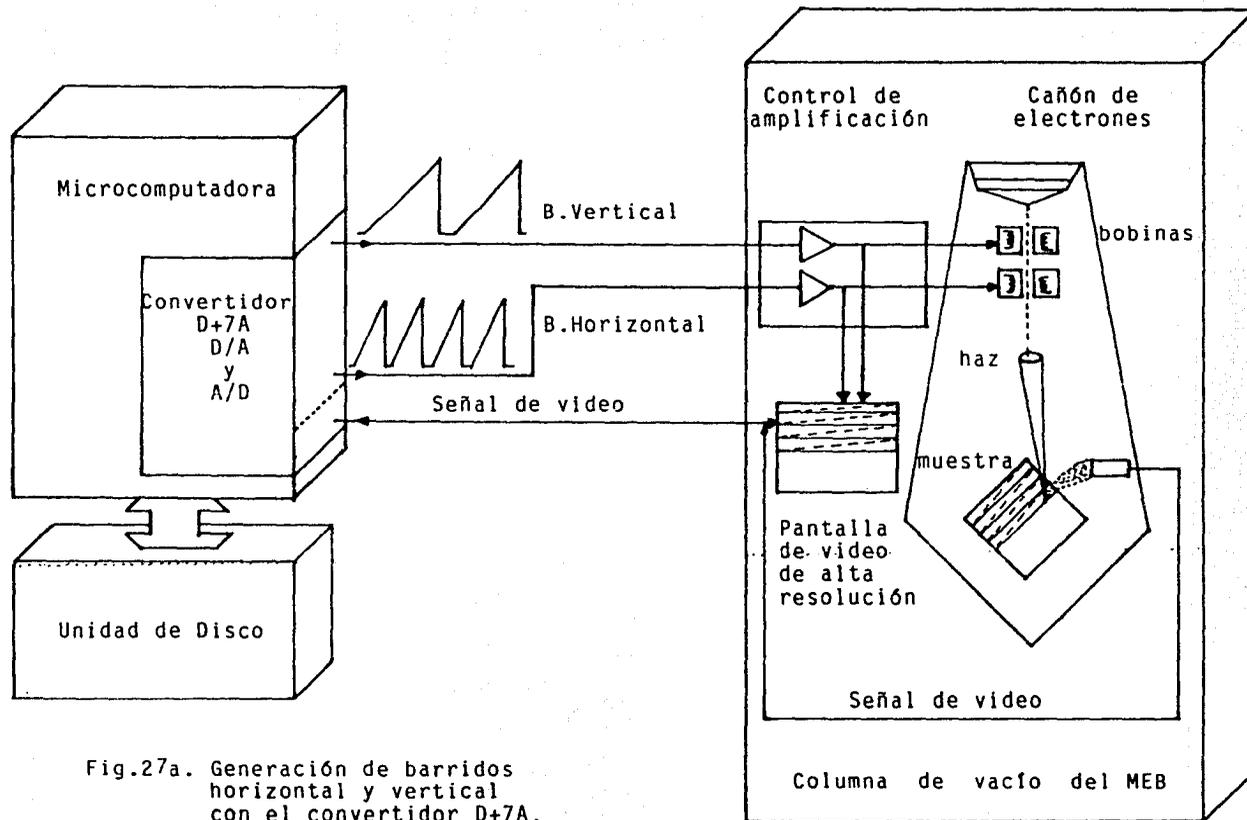


Fig.27a. Generación de barridos horizontal y vertical con el convertidor D+7A.

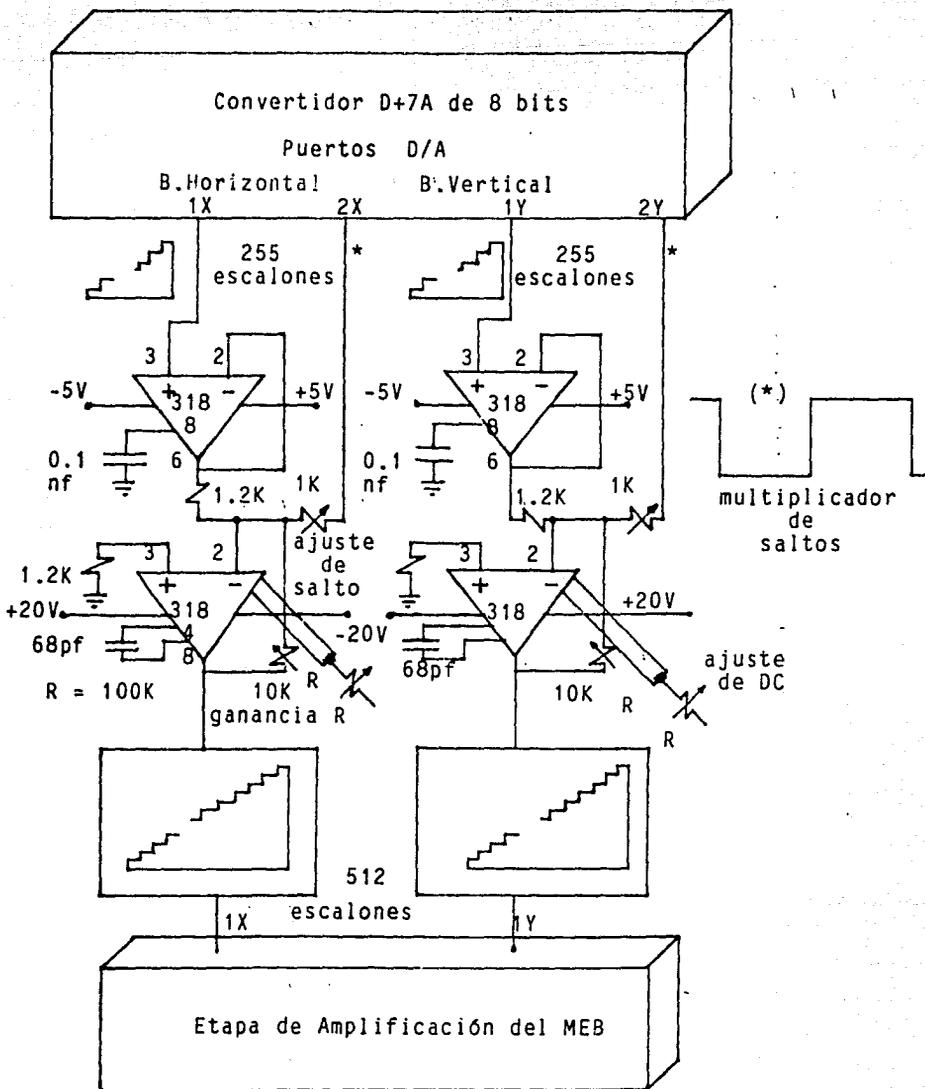


Fig.27b. Generación de barridos de 255,512,1024,etc., líneas.

los instantes en que se realiza la escritura de datos a disco, con lo cual se resuelve el problema de almacenamiento de información.

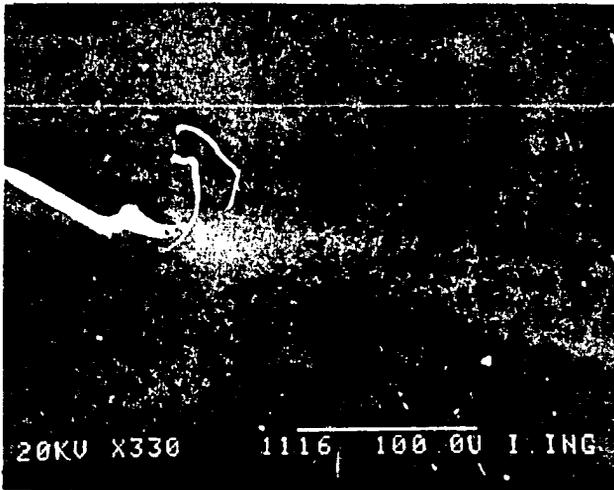
El número de puntos adquiridos al realizar un barrido de 512x512 es de 262 000. Cada pixel podrá tener un valor entre 0 y 255 al realizar la conversión, de tal forma, que si cada pixel se almacenara en un byte, cada imagen almacenada ocuparía 262 Kb de memoria en disco, lo cual constituye un problema grave al trabajar con discos blandos cuya capacidad es de 370 Kb. Para aminorar el problema se comprimieron los datos, de tal forma que actualmente una imagen de alta resolución ocupa 131 Kb de memoria, manejando 64 tonos por pixel. Esta disposición es susceptible de cambiarse a 16 tonos para permitir barridos mayores o iguales de 1024 x 1024 pixeles.

En la figura 28 se muestra una micrografía generada con barrido microcomputarizado de 512x512 pixeles. La división acentuada de cuatro cuadrantes se debe a los saltos de las etapas de amplificación en los circuitos de la figura 27b.

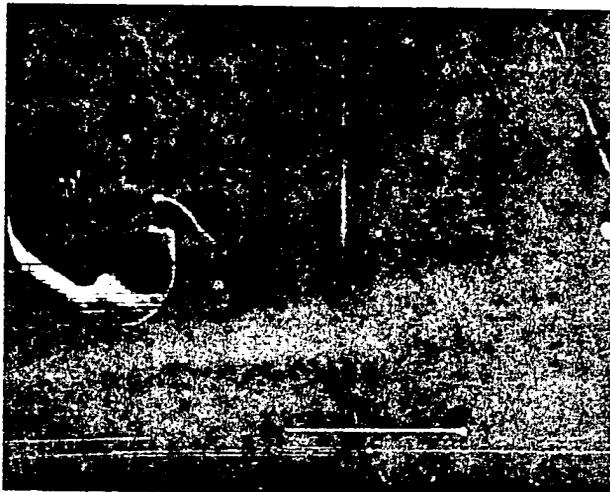
La configuración utilizada (al mismo tiempo que se generan las rampas para barridos horizontal y vertical) ofrece las ventajas siguientes: la sincronización adecuada al inicio de los barridos; la variabilidad de resolución de pixeles adquiridos; la posibilidad de realizar barridos con velocidad controlada para permitir el almacenamiento de datos; y además la posibilidad de usar los 8 bits del convertidor A/D (lo cual incrementa los tonos manejados hasta 255 en comparación con los 16 del digitador CAT-100) y el manejo de 512, 1024 o 2048 líneas por barrido.

Cabe resaltar, que la mejora en cuanto al número de líneas adquiridas del MEB, no implica actualmente la observación de imágenes con mayor resolución, pues el despliegue de éstas se hace a través del CAT-100, el cual siempre estará limitado al uso de cuadros de 255x255 pixeles y 4 bits de resolución. Sin embargo, se permitirá el acceso a mayor información para realizar análisis de imágenes; y desde otro punto de vista, las imágenes adquiridas podrían servir para alimentar otros procesadores de mayor resolución, cuyo problema principal es la adquisición electrónica o la compra de imágenes de alta resolución.

Para información más completa acerca de los programas realizados se recomienda acudir al apéndice C.



(a)



(b)

Figura 28. (a) Original, micrografía de un
circuito integrado.
(b) Micrografía obtenida con
barrido microcomputarizado.

Uno de los deseos más comunes respecto al PDI es el mejoramiento de rasgos en imágenes, que como se mencionó en las primeras secciones, puede obedecer a la posibilidad de una mejor interpretación por parte de los programas de reconocimiento, o bien para fines de análisis. Sin embargo, otro de los factores relevantes para proseguir el desarrollo del PDI, es el desarrollo de programas que permitan una mejor comprensión de la imagen misma. Tal es el caso en microscopía electrónica, en donde las aproximaciones de imágenes topográficas permiten, en ocasiones, una mejor interpretación de los detalles observados.

La técnica utilizada, consiste en hacer crecer sobre la pantalla los rasgos de la señal de brillo digitada. La elevación efectuada se hace punto a punto y depende del valor de los pixeles almacenados, respetando los tonos originales.

Otra técnica consiste en la "Modulación Y" del valor de los pixeles lo cual produce los resultados observados en la figura 29.

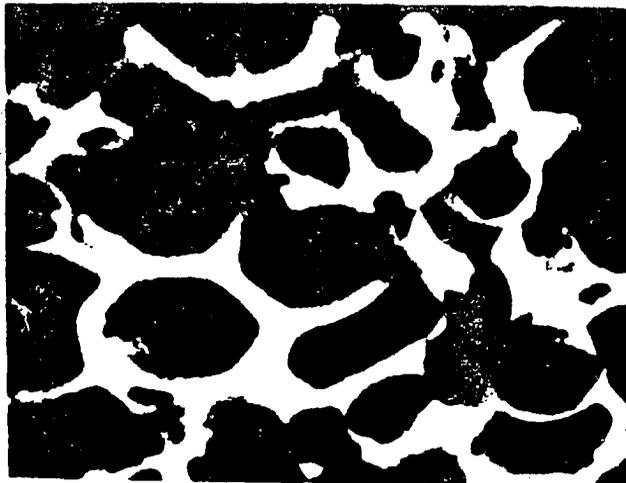


Figura 29

(a)

(b) (c)

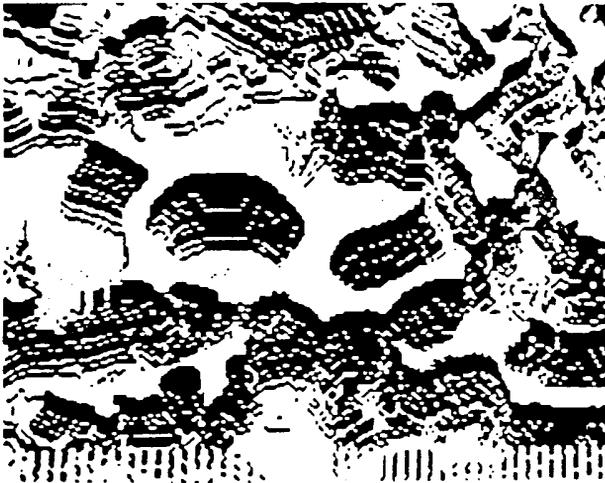
29a- Original, pómez volcánica.

29b- Crecimiento topográfico con operación de traslado y diferencia.

29c- Operación de negación sobre el crecimiento topográfico de la figura 29b.



(d)



(e)

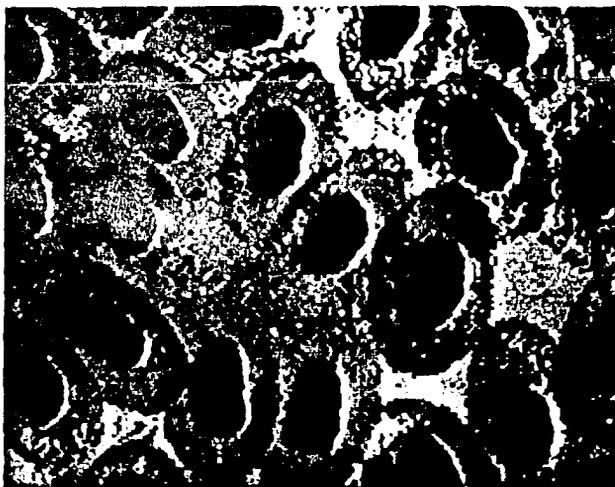
Figura 29. (d) Imagen original.
(e) Modulación Y de la imagen original.

3.12 OTRAS APLICACIONES

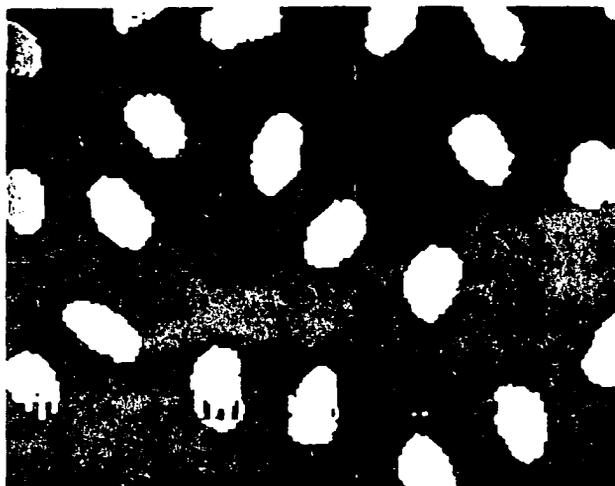
Como se mencionó en la sección 1.2, el campo de aplicación del PDI es muy amplio. Además se enfatizó (ver sección 1.1) que el objetivo de esta tesis está orientado a la elaboración de herramientas de trabajo para el laboratorio de micromecánica en el área de materiales. Sin embargo, es muy importante subrayar que las aplicaciones de las técnicas descritas, son útiles también en sistemas de diagnóstico médico, percepción remota, automatización industrial, arqueología, etc.

Con el objeto de dar al lector otras perspectivas de aplicación del sistema descrito (de las tantas posibles) se dan a continuación algunos ejemplos en los que se aplican directamente los algoritmos elaborados, figuras 30-33.

En el siguiente capítulo se explicarán las mejoras desarrolladas en técnicas de medición y en equipos de trabajo experimental del laboratorio. El trabajo comprende el desarrollo y vínculo de interfases para lograr objetivos específicos; el PDI se utiliza como medio de despliegue y análisis.



(a)



(b)

Figura 30.

- (a) Imagen que muestra glóbulos rojos de un ave.
- (b) La cuenta de glóbulos, así como el análisis de su tamaño se pueden obtener con el programa de cuantificación automática de diámetros de partículas (ver sección 3.7).

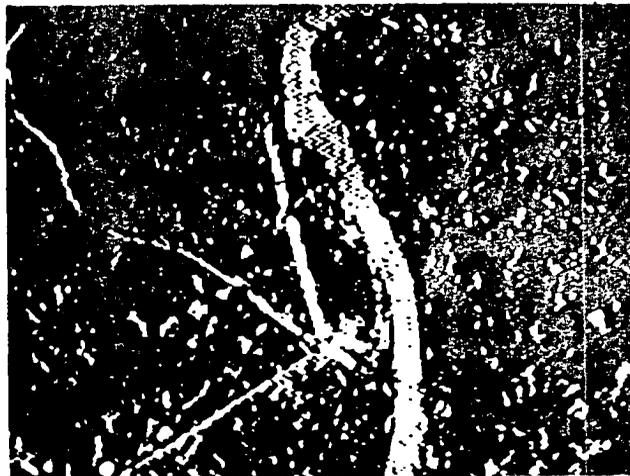
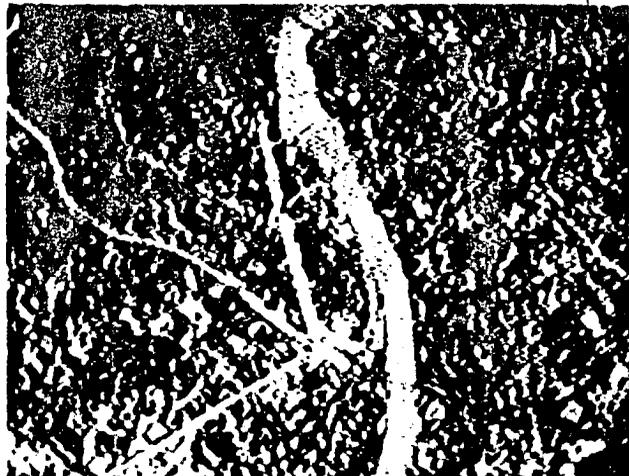
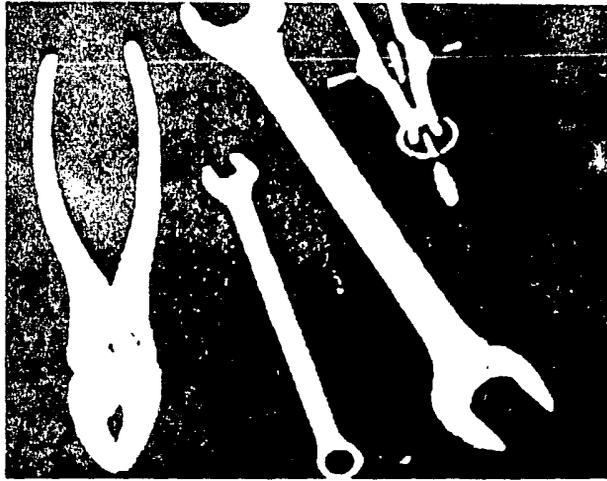


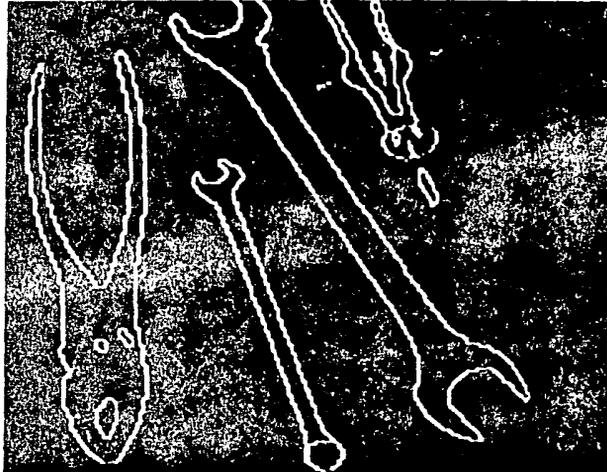
Figura 31

(a) (b)
(c)

El sistema de PDI descrito se puede aplicar en imágenes adquiridas por satélites (a). En (b) se muestra el mejoramiento de contraste por linealización de histogramas. Al aplicar la convolución de traslado y resta a la imagen (b) se obtiene el resultado mostrado en (c).



(a)



(b)

Figura 32.

En visión robótica una de las tareas más importantes es la discriminación de objetos (a). La determinación de éstos se realiza analizando su forma, a través de algoritmos que permiten detectar sus contornos; como el Laplaciano (ver sección 3.4) que aplicado sobre (a) nos permite detectar el perímetro de cuerpos específicos (b).



(a)



(b)

Figura 33.

Las aplicaciones del PDI en Arqueología van desde la reconstrucción de grabados hasta el diseño artístico basado en fotografías originales.

- (a) Piedra del sol, escultura azteca, procede de la Ciudad de México (Museo Nacional de Antropología, México).
- (b) Filtro paso altas aplicado a la imagen (a).

CAPITULO IV APLICACIONES DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS

4.1 INTRODUCCION

En el capítulo anterior se describió el trabajo (en procesamiento y análisis de imágenes) elaborado principalmente para enriquecer las técnicas de mejoramiento y medición de objetos con microscopía electrónica de barrido.

En este capítulo se hablará de las técnicas elaboradas para mejorar los diagnósticos realizados con el equipo del Laboratorio de Micromecánica. Se presentará una técnica para efectuar análisis automatizado de gráficas de difracción de rayos X; se describirá también el desarrollo de un banco de espectrogramas de rayos-X, y por último, un sistema para facilitar el trabajo de recopilación y estadística de espectrogramas, tradicionalmente tedioso, en disciplinas médico-biológicas.

El trabajo por describir, consiste principalmente en interfases para vincular equipos independientes, programas de interacción con usuarios y programas de adquisición, manipulación y análisis de datos.

4.2 EXTRACCION DE INFORMACION EN GRAFICAS DE DIFRACCION DE RAYOS X

La técnica de difracción de rayos-X, es útil para identificar la presencia de compuestos cristalinos en materiales. En Micromecánica se usa para analizar y caracterizar, mineralógicamente, las arcillas cristalinas que componen el subsuelo del Valle de México, ref.12.

El análisis tradicional con difracción de rayos-X implica la búsqueda manual de información, tanto en gráficas producidas por el equipo como en tablas que permiten la identificación de compuestos específicos (además de la evaluación algebraica de parámetros). La obtención de resultados con esta técnica requiere de varias horas de trabajo de un experto, por cada gráfica analizada, lo cual la convierte en tediosa y repetitiva, susceptible a errores y omisiones.

Esta sección se avoca a la descripción de una técnica automatizada de análisis, que proporciona los resultados obtenidos con el método tradicional.

Algunos de los factores de diseño considerados para este proyecto fueron: la creación de una técnica, de uso relativamente sencillo; minimizar el tiempo de obtención de resultados; almacenamiento permanente de la información

generada; la formación de una base de datos con los resultados mineralógicos obtenidos y la posibilidad de manipular la base de datos.

PRINCIPIOS UTILIZADOS

Los difractogramas son gráficas que muestran, en la abscisa, los grados que barre el difractor en relación al espécimen, en tanto que en las ordenadas, se tienen las intensidades de emisión de rayos X que resultan de la interacción con la red cristalina, figura 34a.

El programa desarrollado está provisto de una base de datos, tanto para la definición interna de compuestos (susceptibles de identificarse a través de las gráficas de difracción), como para el envío de resultados directos al usuario.

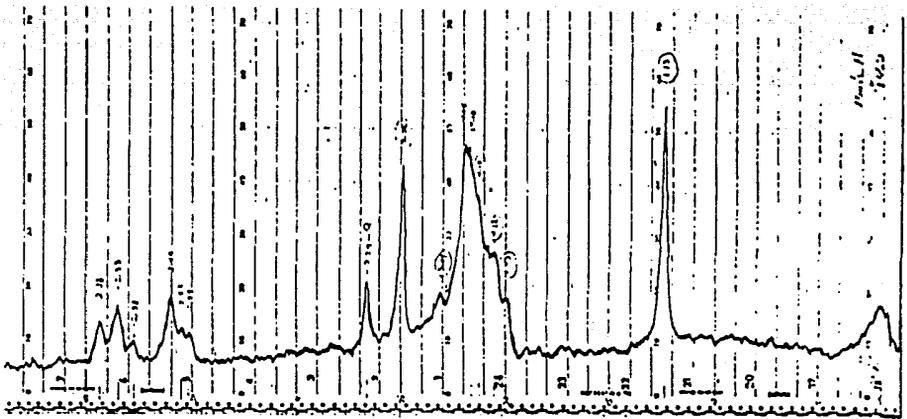
Los datos almacenados en la base son espectros patrones que definen a compuestos específicos. En la figura 34a, se tiene un patrón donde se presentan picos de magnitud específica en ángulos (θ) determinados. El mismo patrón se puede representar mediante barras verticales o cursores, localizados en los picos relevantes del espectro, figura 34b. Este es precisamente el principio utilizado por la técnica a explicar, por lo que al hablar del patrón o firma espectral del compuesto, se referirá a la existencia de cursores de magnitud variable localizados en ángulos específicos. Los cursores de mayor magnitud corresponden a los picos más importantes, que permiten asegurar la existencia de un compuesto determinado. Este tipo de patrones son los que se encuentran definidos dentro de la base de datos.

DESARROLLO DE LA TECNICA

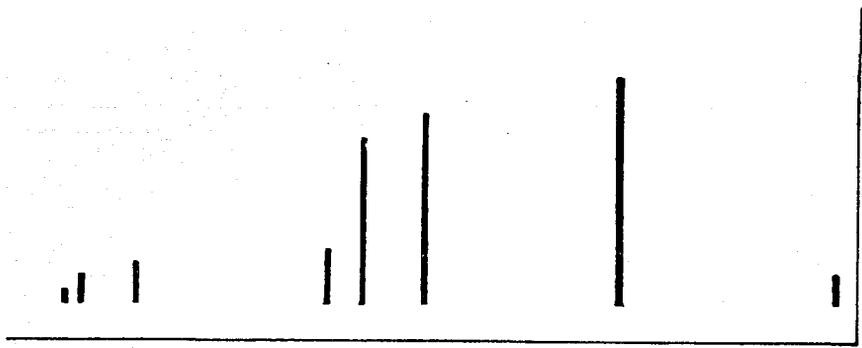
La técnica comprende la digitación de las gráficas de difracción y su análisis, a través de interacciones usuario-sistema con la ayuda del PDI en aspectos de graficación.

Al inicio, el programa permite al usuario la definición de parámetros de la muestra, los cuales se consideran característicos o distintivos de los materiales en estudio. Tales etiquetas quedarán almacenadas, permanentemente, en los primeros registros del archivo creado durante el análisis de una gráfica, figura 35.

En seguida se dan los registros y campos de información definidos para cada gráfica de difracción.



(a)



(b)

Figura .34. (a) Difractograma de material caolín.
 (b) Espectro definido mediante barras (patrón).

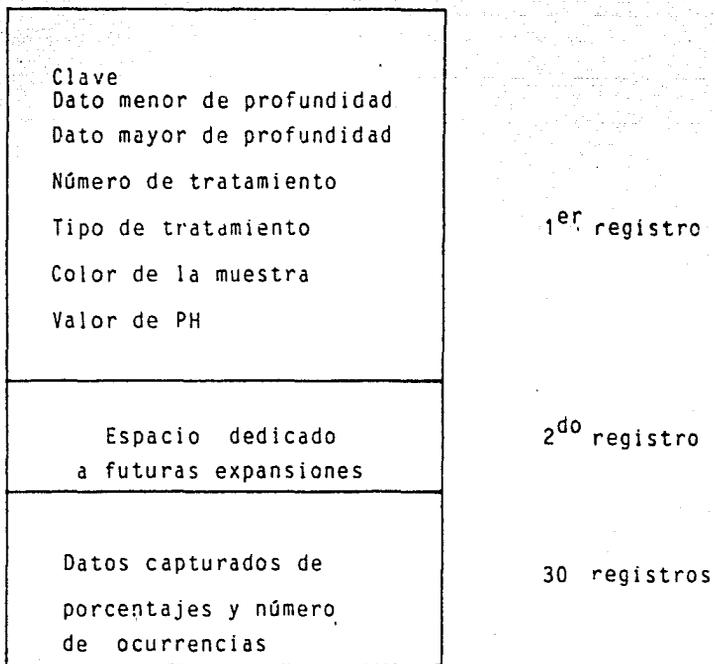


Fig.35. Estructura de archivos para difractogramas de rayos X.

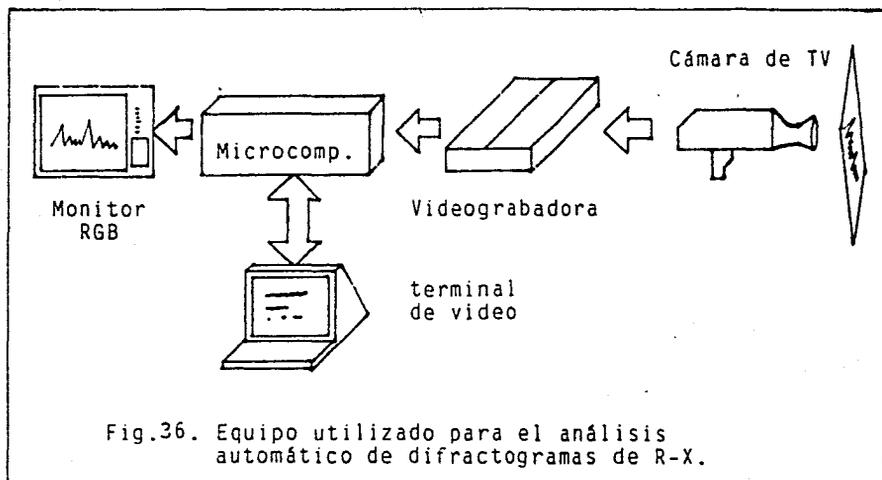


Fig.36. Equipo utilizado para el análisis automático de difractogramas de R-X.

- (1) La clave es una palabra de cuando más 10 caracteres, utilizada para identificar la gráfica de difracción respectiva.
- (2) Los datos de profundidad son números reales. Debido a que las muestras analizadas provienen del subsuelo, se permiten declarar los límites del estrato donde se obtuvo la muestra.
- (3) El número de tratamiento es un arreglo de hasta 10 caracteres.
- (4) La dureza es un número real.
- (5) El pH es un número entero.
- (6) Dentro de los tipos de tratamiento almacenados en la base, y que pueden elegirse através del programa, se tienen los siguientes, entre otros más:

Verrmhigl	M14T550
Mo14gly	NT15G1
Mo15Agl	Nt15550
⋮	⋮

- (7) En cuanto al color de la muestra, se permite la elección de alguno de los siguientes, entre muchos más.

arcilla oscura	gris claro
arcilla gris	gris café
arena blanca	negra
café con fósiles	ocre
café con lenticillas blancas	roja
ceniza blanca	rojiza-café
ceniza negra	⋮
⋮	⋮

Cada una de las etiquetas anteriores, así como el espacio dedicado a expansiones futuras, tienen por objeto facilitar el manejo de los archivos (base de datos) generados con esta técnica. Esto permitirá, por ejemplo, obtener las características de las muestras para profundidades determinadas, los resultados generales de las arcillas arenosas después de efectuado el análisis, etc.

Después de la definición de parámetros, se procede a la digitación de la gráfica. La imagen se obtiene de una videgrabadora (en la que previamente se han almacenado las gráficas de difracción), de tal forma que se facilita el manejo de las gráficas. En la figura 36 se presenta el equipo utilizado en este proyecto.

Al tiempo de digitar se definen los grados con que se inicia y termina el difractograma. Esto se debe a que las gráficas se almacenan en la videgrabadora en 2 partes, por

lo que al programa se le debe indicar que parte de la base de patrones deberá desplegar en pantalla.

Hasta este paso, la participación del usuario se limita a responder las preguntas solicitadas por la computadora; las respuestas o datos se encuentran en la imagen digitada por lo que el usuario no necesita de otra información para continuar su trabajo.

ANALISIS

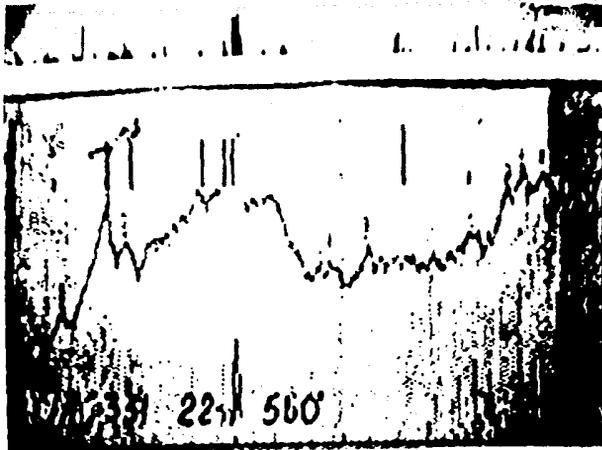
Con los siguientes pasos se realiza el análisis de la gráfica capturada, la cual es observada en todo momento por el usuario a través del monitor de color.

La interacción usuario-computadora, tiene por objetivo determinar los compuestos contenidos en la gráfica analizada. Actualmente se tienen integrados, en la base de datos, los siguientes compuestos, entre otros:

Caolinitas	Calcitas
Cuarzo	Nontronitas
Corrensita	Illitas
Vermiculitas	Montmorilonitas
Feldspatos	Tratamientos
:	:

PASOS DEL ANALISIS

1. El usuario elige alguno de los compuestos anteriores y el programa responde superponiendo, sobre la gráfica, el patrón ideal del compuesto seleccionado, figura 37a.
2. A continuación se inicia la participación del usuario, pues tiene que relacionar el grado de similitud que existe entre el patrón ideal desplegado y la gráfica por analizar, para así establecer un porcentaje de coincidencia. Esta se determina asignando mayor peso a las coincidencias entre picos altos y cursores grandes. Debido a que existirá siempre un índice de error, como resultado del carácter subjetivo de las asignaciones de similitud, se hace necesario el análisis de gráficas correspondientes a un sondeo por una sola persona, para no alterar los resultados. Se necesita, relativamente, poca experiencia para obtener resultados repetibles.
3. El usuario tiene la posibilidad de mover los cursores (del patrón), todos a la vez, hacia arriba o hacia



(a)

Lista de % y sumas de % de la forma:

[C= compuesto]

c1 c2 c3 c4 c5
c6 c7 c8 c9 c10

[S=sumas de %]

s1 s2 s3 s4 s5
s6 s7 s8 s9 s10

	1	2	3	4	5						
0	5	44	40	2	3		1	1	1	1	1
5	5	72	75	16	5		1	1	1	1	1
10	9	12	18	24	5		1	1	1	1	1
15	30	32	4	24	18		1	1	1	1	1
20	17	1	10	32	4		1	1	1	1	1
25	6	5	6	7	42		1	1	1	1	1
30	27	8	6	33	42		1	1	1	1	1
35	23	23	6	11	20		1	1	1	1	1
40	10	40	60	58	25		1	1	1	1	1

Teclée cualquiera para continuar ->

(b)

Figura 37. (a) Espectrograma digitado. Se despliegan también barras correspondientes al patrón de un compuesto seleccionado.

(b) Listado del estado de compuestos.

abajo, con el fin de detallar la búsqueda de semejanzas.

4. En este paso se permite al usuario la elección de alguna de las siguientes trayectorias.
 - . Mover cursores hacia arriba.
 - . Mover cursores hacia abajo.
 - . Identificación de compuesto nuevo.
 - . Asignación de porcentaje al compuesto observado.
 - . Escritura del estado de los compuestos.
 - . Digitación de un difractograma nuevo.
 - . Listado de compuestos por nivel.
 - . Respaldo de datos a disco.
 - . Salida del programa.
5. Una vez asignado el dato de parentesco, el programa envía nuevamente la tabla de compuestos existentes y se repiten los pasos 1 a 5, hasta analizar, ya sea la base completa de compuestos o únicamente los sugeridos por el usuario.

OPCIONES DE TRABAJO

Existe siempre la posibilidad de suspender el trabajo para reanudarlo en otra sesión. Para esto, cada vez que se inicia el trabajo, el programa pregunta si se trata de una gráfica nueva o si se trata de una parcialmente analizada, en cuyo caso se captura el archivo creado y se lee su información para actualizarla con el trabajo por desarrollar.

ESTADO DE COMPUESTOS

El estado de los compuestos se refiere al despliegue de una retícula, en la cual se muestran los compuestos y sus porcentajes almacenados. El número del compuesto concuerda con el de la tabla de selección enviada al usuario en el paso (1), figura 37b.

Esta información ofrece al usuario una visión general de los compuestos analizados. La tabla se almacena también, dentro del archivo generado por el programa, ya sea para renovación posterior, o bien, para propósitos de consulta de información.

COMPUESTOS POR NIVEL

En lo referente a compuestos por jerarquía, se da información en cinco grupos de acuerdo a los porcentajes más altos asignados, figura 38. Como se observa, en la lista aparecen ya los nombres de los compuestos dominantes encontrados, que constituyen los resultados obtenidos al aplicar esta técnica.

RESPALDO DE INFORMACION

El respaldo a disco consiste en la escritura de los siguientes datos: características de la muestra, porcentajes asignados, números de ocurrencias (ya que el valor de un ángulo se puede repetir en varios compuestos), y datos de presencia por nivel de importancia o jerarquía. La escritura puede ser una actualización, cuando ya existía un archivo parcialmente analizado, o un respaldo, si se trata de un archivo cuyo nombre no aparece en el directorio del disco.

Como se mencionó al principio de la sección, el programa se encuentra estructurado para permitir el análisis de 50 compuestos, sin embargo, la estructura del archivo se elaboró para posibles expansiones, de tal forma, que actualmente se manejan espacios para contener hasta 100 porcentajes de compuestos, 100 datos de ocurrencias y 100 espacios para cada uno de los cinco niveles de presencia de compuestos, figura 39.

FIN DE PROGRAMA

Esta orden de salida prevee el respaldo de datos en disco antes del cierre del archivo de trabajo.

En síntesis, la participación del usuario se reduce a responder preguntas planteadas a través de la computadora y a asignar porcentajes de semejanza, para lo cual, el programa permite algunas ventajas de graficación que facilitan la toma de decisiones.

Uno de los puntos más importantes en este trabajo, es la graficación utilizada para desplegar hasta 50 cursores en un momento dado y en lugares aleatorios. El movimiento de los cursores implica el almacenamiento de la información pictórica, sobre la cual se trazarán barras oscuras, de tal forma, que ante una orden de movimiento de los cursores se sustituyan las barras por la información almacenada, restableciéndose así la imagen original. Esta técnica se

Compuestos de Primer nivel [5-20%]

CAOLIN_{1md}
CUARZO_{1fa}

HALO_{10m110}
HALO_{110a}
HALO_{110m1}
HALO_{17a}
CORREN_{cita}
ILLITA_{2m2}
ILLITA_{tri}
VERMIC₃₀₀
CLORITA_{1b}
CLORITA_{cook}
ESMECT_{14a}
ESMECT₁₅
ESMECT_{21a}
ESMECT₁₁₁
TRATHorn_{bin}
TRATnac_{2m2}
TRATverhis_{ly}
TRATesmci_{4m1}

Telee cualquiera para continuar -->

Compuestos de Segundo nivel [21-40%]

CAOLIN_{smc}
HALO_{17a1}
CORR₆₀₀
ILLITA_{1m}
ILLITA_{2m1}
VERMIC_{hidrob}
ESMECT_{18a}
ESMECT_{clorit}
FEL_{despatos}
TRAT_{dick2m1}
TRAT_{esm15a1}
TR_{nont13t550}

Telee cualquiera para continuar -->

•
•
•

Figura 38. Listado de compuestos por jerarquía.

Reg.	
1	Clave, Prof. m, Prof. M, N ^o tratamto, Tipo de trat, color, dreza, Ph
2	Espacio dedicado a futuras expansiones
3	porc(1,1) . . . porc(1,5) veces(1,1) . . . veces(1,5)
⋮	⋮
⋮	⋮
⋮	⋮
22	porc(20,1) . . . porc(20,5) veces(20,1) . . . veces(20,5)
23	Compuestos del grupo 5 (50 datos). 81 a 100%
24	Espacio para expansión de 50 datos. 81 a 100%
25	Compuestos del grupo 4 (50 datos). 61 a 80 %
26	Espacio para expansión de 50 datos. 61 a 80 %
27	Compuestos del grupo 3 (50 datos). 41 a 60 %
28	Espacio para expansión de 50 datos. 41 a 60 %
29	Compuestos del grupo 2 (50 datos). 21 a 40 %
30	Espacio para expansión de 50 datos. 21 a 40 %
31	Compuestos del grupo 1 (50 datos). 5 a 20 %
32	Espacio para expansión de 50 datos. 5 a 20 %

Fig. 39. Estructura completa de los archivos de difractogramas de rayos X.

utiliza también para mover el cursor al definir los grados en la gráfica digitada.

Los programas de base de datos, graficación y control se encuentran en el apéndice D, y fueron desarrollados principalmente en lenguaje Fortran.

Para finalizar, se debe señalar que con base al sistema desarrollado se puede realizar la identificación de compuestos complejos, es decir, mezclas de minerales de manera rápida y con índices de error similares al de un especialista. De hecho, las personas más sorprendidas e intrigadas por la capacidad del sistema son precisamente los expertos en interpretación de difractogramas, a quienes debemos agradecer sus aportaciones, específicamente a la maestra María Castellanos y a la pasante Beatriz Gómez de la Facultad de Química, por su cooperación en todo momento cuando fue solicitada. También cabe mencionar los comentarios alentadores del Dr. Liberto de Pablo, eminente minerólogo, que fueron sin duda una contribución importante para llevar a término éste complicado desarrollo.

4.3 BANCO DE ESPECTROGRAMAS PARA CORRELACION Y DESPLIEGUE AUTOMATICO

ESTA TESIS NO DEBE SER COPIADA SIN LA APROBACION DE LA BIBLIOTECA

En el capítulo I se dio la introducción al equipo de micromecánica, el cual se utiliza para realizar análisis químico elemental cualitativo. También se enfatizaron las restricciones de uso más severas por parte de la microsonda de rayos-X, entre las cuales están:

- Capacidad de memoria para almacenar tan sólo 4 espectros.
- La graficación se permite mediante la compra de memorias programadas de estado sólido, a costos exagerados.
- Para realizar manipulaciones con espectros se tendría que adquirir equipo más reciente, el cual viene equipado con unidad de disco y con programas de análisis que también se comprarían de acuerdo al problema por resolver.
- La compra de una unidad nueva no permitiría el manejo directo de una base de datos, es decir, habría que elaborar el manejador de la base de datos en cuestión.

Estos antecedentes, así como la existencia del equipo necesario para que, una vez integrado y programado, pudiera utilizarse como solución a los problemas planteados; llevó a la conclusión de que se debía hacer el esfuerzo por lograr un sistema especializado con el equipo del Laboratorio de Micromecánica. Evitando así, generar más dependencia tecnológica.

El objetivo de este trabajo fue la vinculación de la microsonda de rayos-X a una microcomputadora, en la cual se pudiera formar una base de datos (con la información capturada durante el trabajo cotidiano), así como una serie de alternativas para el despliegue de información numérica y/o analógica de espectrogramas, ref.13.

En la figura 40, se muestra el diagrama del equipo utilizado y su interconexión para solucionar los problemas mencionados.

La base de datos elaborada se utiliza para realizar procesos de correlación automática, ya sea entre un espectro y la base parcial o total, o bien entre dos espectros específicos. Con esto se enriquece la información dada a los usuarios a medida que los estudios de espectrometría realimentan la base.

El desarrollo del proyecto, al igual que en la sección anterior, comprende la elaboración de interfases para conectar el equipo, programas interactivos para la

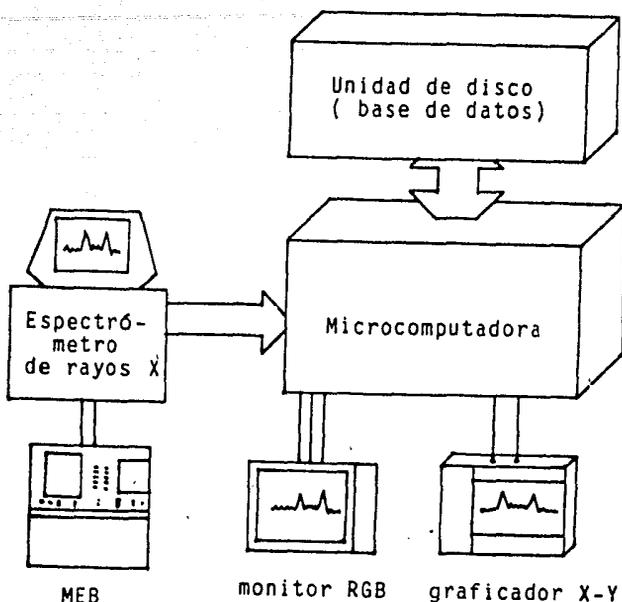


Fig.40. Equipo utilizado para el Espectrobanco.

comunicación entre usuario y el equipo de cómputo, así como el diseño de técnicas de graficación, compresión de datos y procesamiento múltiple de archivos.

PROGRAMA DE ATENCION A USUARIO

El programa desarrollado consta de 30Kb de código objeto, elaborado en un 90% en lenguaje ensamblador Z80, las rutinas escritas en Fortran se utilizan para procesamiento algebraico, como en el caso de cálculos de correlación.

La parte central del programa de control realizado, es una rutina interactiva en la que se atienden las peticiones del usuario. En ésta, se le recuerda la existencia de una orden programada para mostrarle una tabla con el menú de control y su significado. Las órdenes programadas son las siguientes:

1. Adquisición de espectros desde la Microsonda.
2. Despliegue de texto o encabezados de los espectrogramas en la pantalla de video.
3. Graficación en monitor RGB -100 o 200 puntos- o en papel.
4. Correlación entre 2 espectros específicos.
5. Correlación automática entre un espectro definido y una familia de ellos o la base total.
6. Directorio particular para realizar búsquedas de archivos, localización de familias y verificación de espectros almacenados. Esta rutina es utilizada por las rutinas 2,3 y 5; para permitir operaciones automatizadas de búsqueda y de procesos.

ADQUISICION DE ESPECTROS

La adquisición se realiza capturando datos a través de un canal digital tipo serie de la MRX , que originalmente se utilizaba para obtener listados alfanuméricos en una impresora. La rutina realiza el reconocimiento de bloques de datos de tal forma que almacena separadamente el texto (que define las características del espectrograma) y la información numérica del espectro.

Quando se realiza la captura de datos por el canal serie, la información del espectrograma fluye de caracter en caracter, cada uno representado por una serie de pulsos codificados de acuerdo a la norma de transmisión de datos ASCII.

El valor de los puntos que definen al espectro se recibe en serie. El número de caracteres por punto recibido depende de la magnitud del espectro en ese punto, es decir, el número de caracteres recibidos por punto leído es aleatorio.

En la parte de adquisición numérica, se hace el reconocimiento de las magnitudes leídas para poder separarlas e interpretarlas, los datos leídos van desde 0 hasta 65000 y se encuentran separados por caracteres que definen espacios en blanco o retornos de carro.

La adquisición se efectúa a 4800 bauds, que es la máxima velocidad de transmisión del puerto serie de la microsonda.

En vista de que cada caracter ASCII ocupa 1 byte -8 bits- para representarse, del cual la información útil (en el caso de datos numéricos) son los 4 bits menos significativos,

el almacenamiento de datos contempla solamente a la parte baja del byte. Esto permite guardar 2 números por byte de la forma que se muestra en la figura 41.

Cuando se realiza la adquisición de un espectrograma, se le permite al usuario la declaración de texto sobre las características del espectro, el cual se almacenará también en el archivo generado. Las características son, por un lado, la definición de un número de prioridad entre 1 y 5, el cual se utilizará como llave estratificadora al momento del análisis de espectros, y por otro, un texto cuya longitud no exceda los 128 caracteres.

De esta forma, cada archivo de espectrograma está compuesto por: un número de prioridad, texto dado por el usuario, datos técnicos y la información numérica de 1000 puntos; de tal modo que al almacenarse, y debido a que el sistema operativo asigna espacio para archivos en ventanas de 2Kb, los espectros almacenados ocupan 4Kb de memoria en disco.

En la figura 42 se da el formato de los archivos generados.

Una vez capturada la información anterior, se procede a su almacenamiento en un archivo de disco; posteriormente se regresa al modo de órdenes o menú.

DIRECTORIO PARTICULAR

Esta es una de las rutinas más importantes que se desarrolló en este trabajo, pues con su apoyo se logran obtener resultados de correlación, despliegue de textos y directorios de familias de espectros en forma automática.

En la declaración del nombre del archivo se permite el uso de caracteres ambiguos para denotar generalidad, el caracter usado es el signo "?", ejemplo:

ESP????? se utilizaría para llamar espectros desde ESP00000 hasta ESP99999.

La rutina hace llamadas al sistema operativo CDOS, para el acceso al directorio. Estas rutinas entregan apuntadores a nombres de archivos, los cuales se usan para transferir el contenido alfanumérico a una tabla de nombres de archivos, figura 43.

Fig. 41. Almacenamiento de los datos numéricos para Espectrogramas de rayos X.

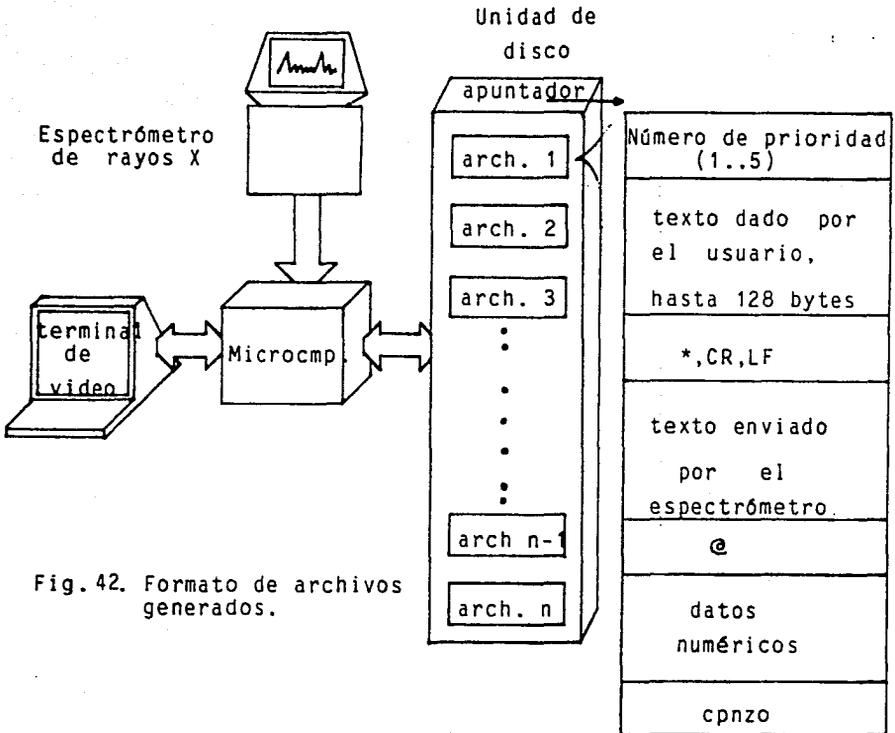
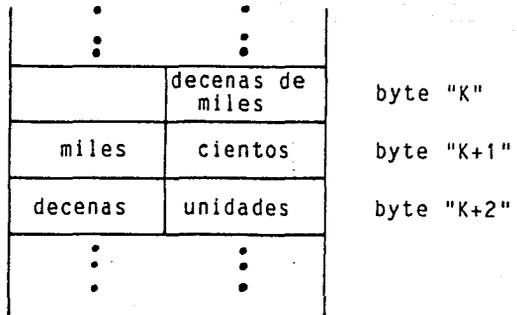


Fig. 42. Formato de archivos generados.

Tabla de nombres de archivos

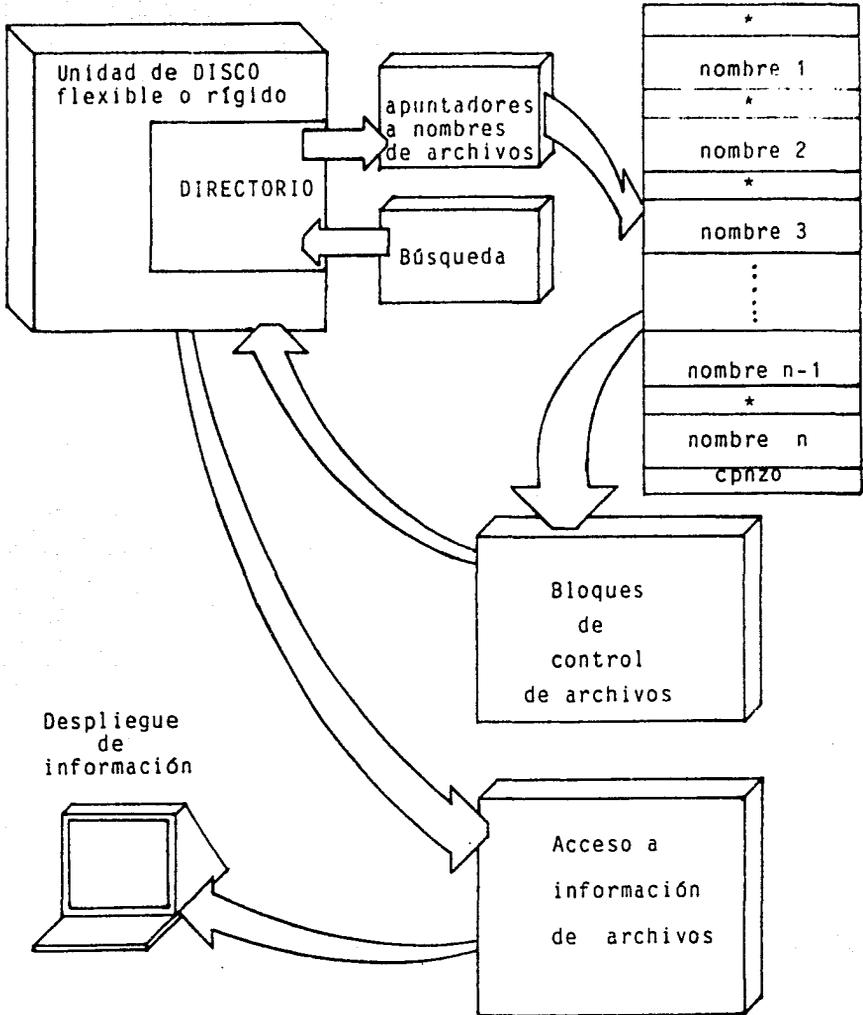


Fig. 43. Búsqueda, apertura y acceso automático de archivos.

Los nombres de archivos que han sido borrados por el usuario no desaparecen del directorio, sólo se marcan con una bandera para que no se vuelvan a llamar. La rutina elaborada detecta la bandera, de tal forma que no se transfieren a la tabla los nombres de archivos que han sido borrados.

Una vez generada la tabla, se envían los datos a pantalla para dar información al usuario, con lo cual se genera el directorio pedido. Cuando se utilizan los caracteres ambiguos el directorio aparece ordenado crecientemente.

DESPLIEGUE DE INFORMACION NO NUMERICA EN CRT

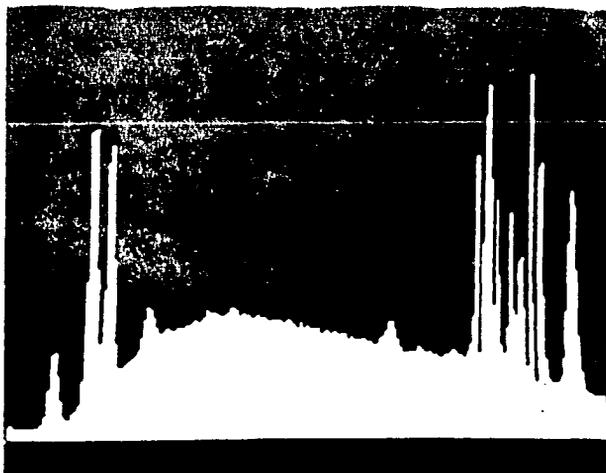
Cuando se llama a la rutina de despliegue de información, y en el caso de solicitarse un espectro específico, se procede a abrir el archivo y posteriormente, se envía a pantalla solamente la parte textual de éste, figura 43.

En caso de indicar una familia de espectros, se genera primero la tabla de nombres de archivos, figura 43, y posteriormente se toman uno a uno para abrir los archivos y enviar el texto a la pantalla del usuario. Al final de la tarea, la rutina regresa al programa de atención a usuario.

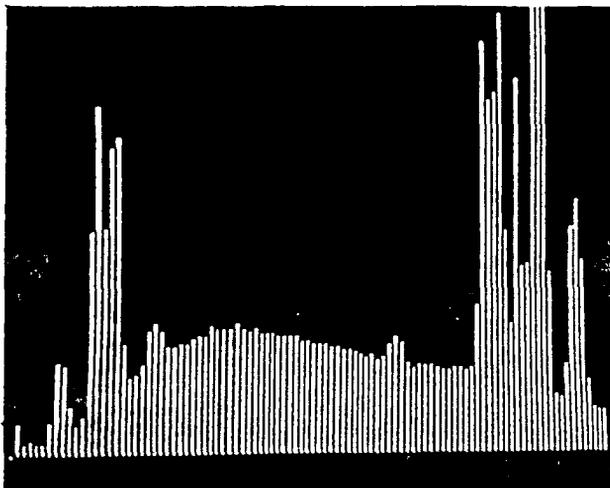
GRAFICACION EN RGB Y EN PAPEL

En caso de pedir la graficación en RGB, existe la posibilidad de elegir entre dos tipos de resolución y dos formas de graficar. La resolución puede ser de 100 o 200 puntos, figura 44 a y b, en tanto que la graficación puede ser en barras o en puntos. La comparación de dos gráficas se permite cuando previamente se ha trazado un espectro; en cuyo caso, la graficación se realiza con diferente color para permitir la comparación entre espectros, figura 45.

Los programas se desarrollaron con flexibilidad de uso, de tal forma que al comparar 2 espectrogramas (suponiendo a uno de ellos como la base de comparación), se puedan comparar otros espectros sin tener que llamar nuevamente al original; es decir, sólo se llama al nuevo espectro por comparar. Al efectuar una nueva comparación, los programas elaborados borran los puntos del espectro anterior mediante la reinstalación de los datos originales almacenados, y en seguida se traza el nuevo espectro pedido. Cabe señalar que al momento en que se grafican y comparan las gráficas, se envían a pantalla los datos alfanuméricos del espectro en cuestión, como información al usuario.



(a)



(b)

Figura 44. Graficación de espectros.

(a) Resolución de 200 líneas.

(b) Resolución de 100 líneas.

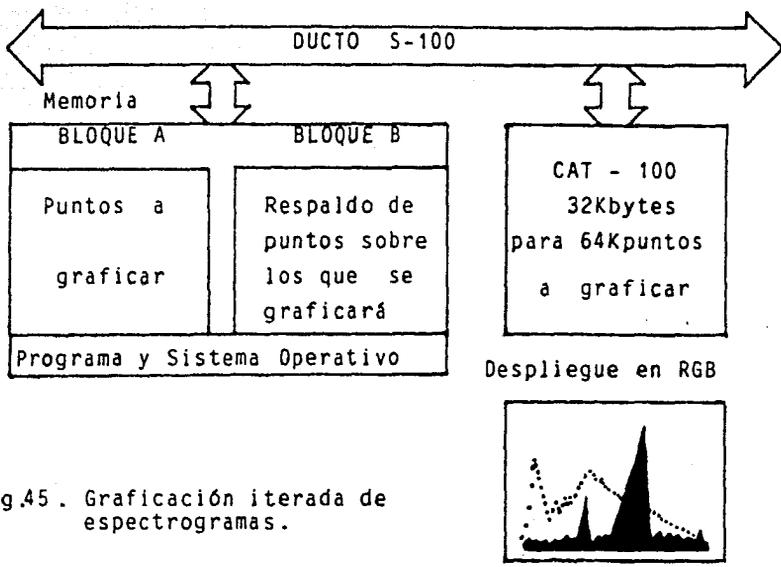


Fig.45. Graficación iterada de espectrogramas.

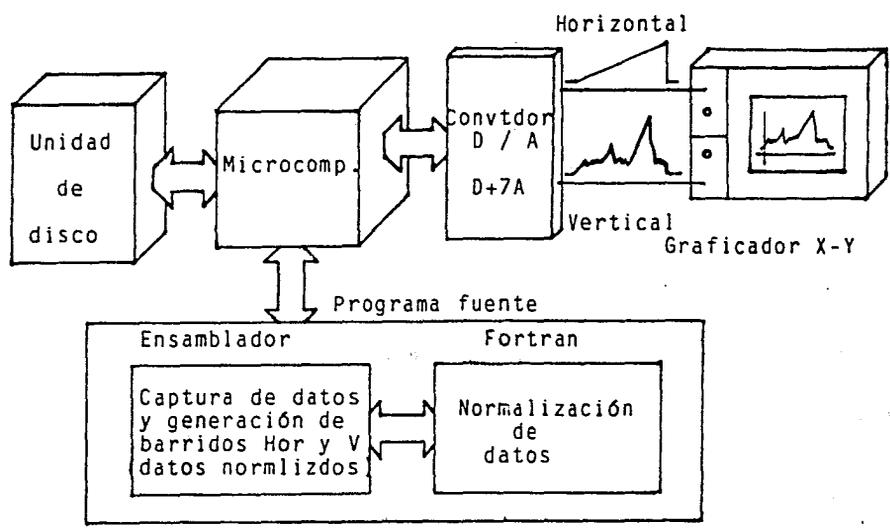


Fig. 46. Graficación de espectrogramas en papel.

Para efectuar la graficación, primero se abre el archivo pedido; posteriormente la información textual se envía a pantalla y con los datos numéricos se procede a graficar los promedios normalizados de cada 4 puntos. El procedimiento de graficación se describe en seguida:

1. Se llenan dos bloques de datos, uno con las magnitudes a graficar y otro con los valores de intensidad luminosa localizados en los puntos donde se graficará; posteriormente se efectúa la graficación.
2. Si se trata de una segunda graficación, lo primero que se hace es reinstalar los puntos de respaldo originales, obtenidos en 1, y se procede a realizar nuevamente el paso 1, figura 45.

Para la graficación en papel, también se envía, primeramente, la información alfanumérica del archivo hacia la pantalla para dar información al usuario.

El dispositivo utilizado para graficar en papel, es un graficador X-Y que necesita 2 señales de barrido, una para el movimiento horizontal, voltaje creciente, y otra para desplazarse verticalmente. Para generar los barridos desde la microcomputadora se utiliza un convertidor de digital a analógico (D/A) denominado D+7A, de 8 bits de resolución, con el que se pueden graficar sólo 255 niveles de voltaje distintos para los barridos vertical y horizontal. El barrido vertical se normalizó a la magnitud máxima de los espectros a los 255 escalones que maneja el convertidor.

Antes de graficar el espectro, se trazan los ejes vertical y horizontal para referencia del espectrograma.

El archivo se abre, al igual que en los casos anteriores, desde Ensamblador, y se toman los datos numéricos; posteriormente, se envían a Fortran para obtener datos normalizados de graficación y en seguida, desde ensamblador, se recuperan nuevamente los datos para generar el barrido vertical, figura 46.

La decisión de utilizar el lenguaje ensamblador se apoya en la velocidad de ejecución de sus instrucciones, lo que se refleja en la rapidez de las acciones programadas. La desventaja de este lenguaje radica en lo laborioso y difícil que resulta la escritura de programas extensos; como el que se escribió para estas aplicaciones.

El ritmo del barrido horizontal se incrementa cada vez que ocurren 4 variaciones en el barrido vertical, lo que equivale a tomar el valor mayor de las 4 muestras leídas.

Una vez graficada la curva, la rutina cuestiona una

nueva graficación superpuesta. En caso afirmativo se reinicia el proceso anterior sin el trazado de ejes, en caso contrario se regresa al programa de atención a usuario.

En la figura 47 se muestran espectros obtenidos con la rutina anterior.

CORRELACION ENTRE 2 ESPECTROGRAMAS

Esta rutina solicita al usuario los nombres de los espectros por procesar y les asigna bloques de control de archivos diferentes. Esto permite la apertura simultánea, en ensamblador, de 2 archivos. Al momento en que se definen los nombres de archivos, el programa despliega la información textual en la pantalla del usuario, posteriormente, se envían los puntos del espectro a Fortran para realizar la correlación solicitada.

La función de correlación usada está dada por:

$$\text{CORREL} = \frac{[N_i \sum (D_j \cdot D_k) - (\sum D_j)(\sum D_k)]}{\sqrt{[N_i (\sum D_j^2) - (\sum D_j)^2] [N_i (\sum D_k^2) - (\sum D_k)^2]}}$$

Donde:

D = Magnitud de un punto del espectro.

j, k = Puntos del espectro.

N = Número de puntos del espectro.

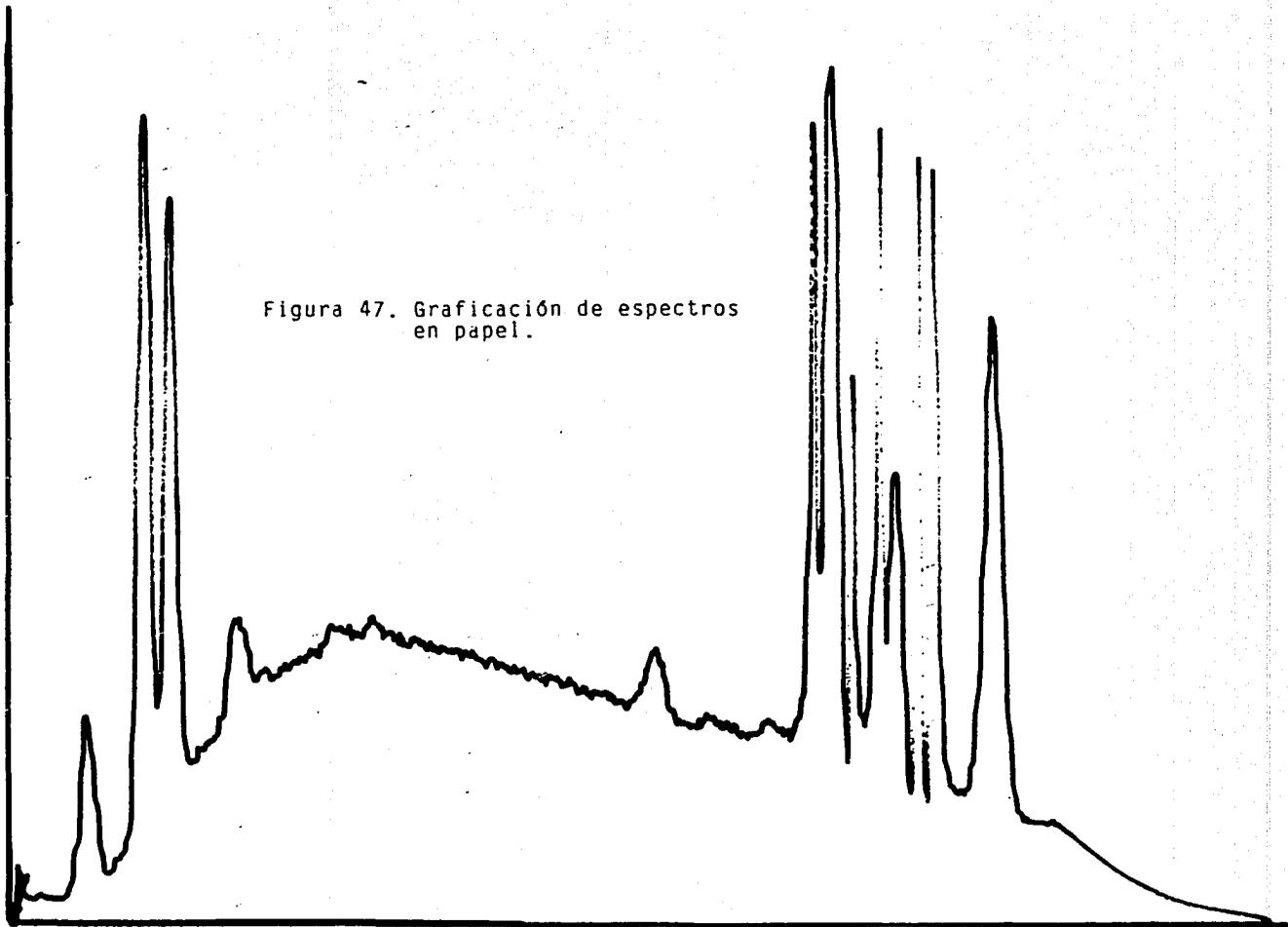
Al efectuar la correlación entre el mismo espectro el resultado es 1, y a medida que se tornan menos parecidos el resultado tiende a 0.

De esta forma se tiene un índice de similitud que varía entre 0 y 1.

CORRELACION MULTIPLE ENTRE ESPECTROS

Esta orden se diseñó para realizar correlaciones automáticas entre espectrogramas, por lo cual, la única petición que se hace al usuario, es definir un nombre de espectro asociado a espectros afines a través de su raíz. En seguida se da un ejemplo:

Figura 47. Graficación de espectros
en papel.



Espectros de "metales".

METALCU
METALAU
METALAG
METALAL

:

:

METAL → raíz

Además, se permite al usuario la definición del nivel de prioridad requerido para correlacionar, es decir, se puede restringir la correlación de acuerdo a una raíz y a un factor de prioridad.

También se da oportunidad al usuario, mediante otra rutina, de definir un nombre de archivo ambiguo, de tal forma que sean posibles las correlaciones entre archivos con raíces distintas. La rutina necesita únicamente el nombre del archivo, como se muestra en la figura 48.

El archivo base será aquél especificado por el usuario, posteriormente, se utiliza éste para generar un nombre de archivo ambiguo. Al nombre declarado se le respeta la raíz, formada por los primeros 5 caracteres, y en los últimos 3 espacios se añaden los caracteres ambiguos "?".

Con el nombre generalizado se forma la tabla de nombres de archivos, similarmente a la orden de directorio automático, y con tales nombres es posible, entonces, formar bloques para abrir automáticamente los archivos siguientes. En este punto, ya se tiene definido el archivo central, y la posibilidad de abrir otros. De la tabla se irán extrayendo los nombres, uno a uno, para obtener los datos de los espectros por comparar.

El siguiente paso es capturar la información de ambos archivos y realizar la correlación. Posteriormente se toma otro nombre de archivo, en el cual se vuelve a cuestionar su prioridad, para después, en caso de cumplir con los requisitos, realizar la apertura del archivo y una nueva correlación. El proceso continúa hasta agotar los nombres de archivos contenidos en la tabla de nombres.

Durante el desarrollo de las correlaciones, los resultados se envían, por un lado, a la pantalla del usuario, y por otro, se van separando los nombres, así como los índices de correlación de los espectros más parecidos (aquellos cuya correlación fue mayor de 0.7). Los datos se envían al bloque de resultados significativos, para que al final de las operaciones se permita al usuario obtener un listado de correlaciones y espectros con alto índice de semejanza. Con

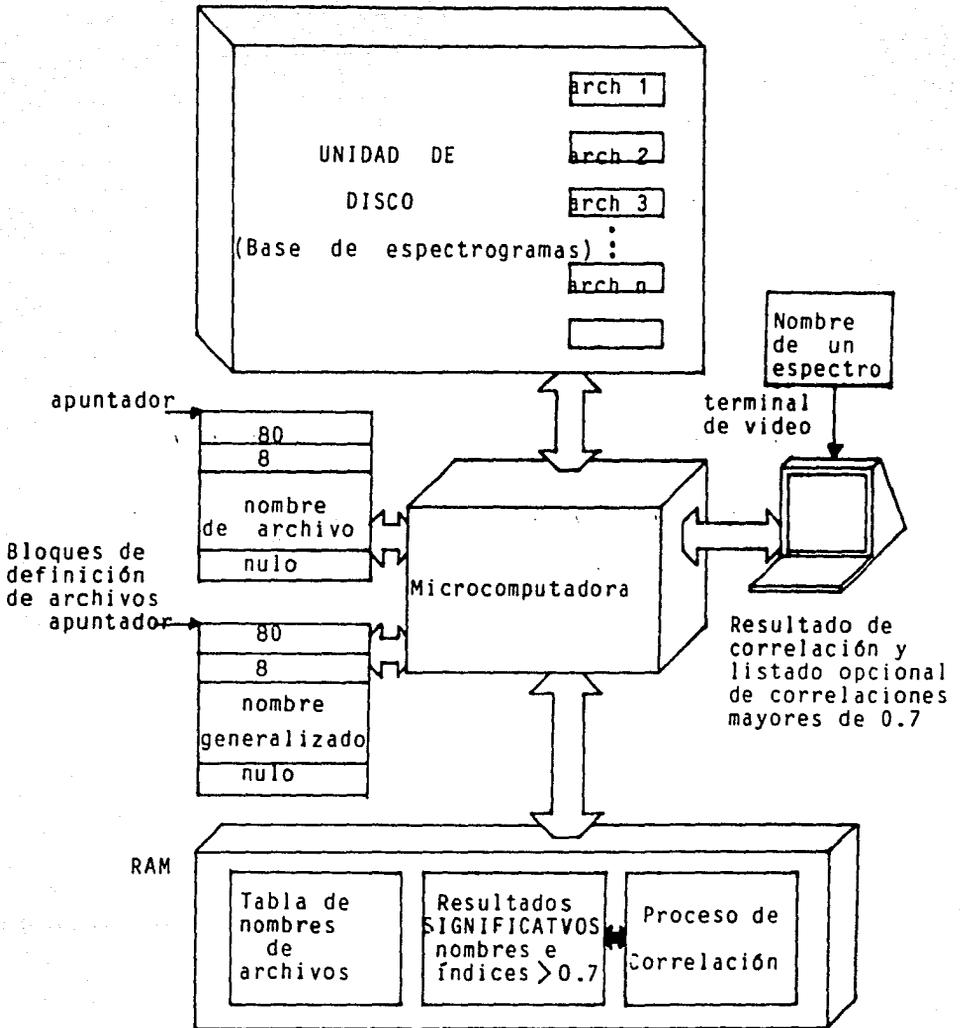


Fig.48. Correlaciones automáticas entre archivos.

estos nombres y con las rutinas anteriores, el usuario podrfa obtener informaci3n acerca de su muestra de estudio (relacionando la informaci3n de otros espectrogramas que pudieran estar completamente caracterizados), con lo que se le ahorrara trabajo y tiempo de investigaci3n.

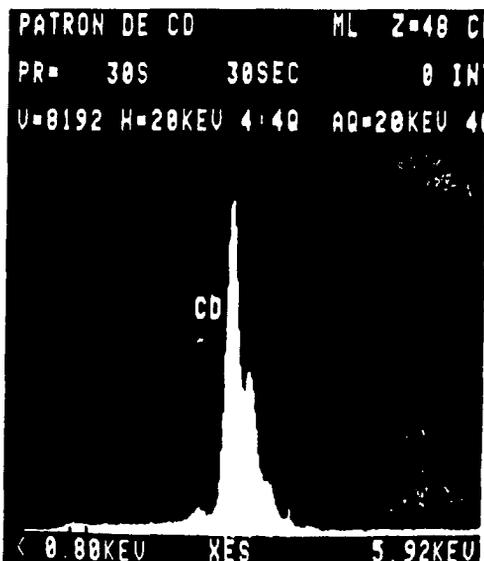
En seguida se mencionan brevemente los logros m1s importantes del trabajo elaborado.

1. La comunicaci3n entre la microsonda y computadora se realiz3 mediante el v1nculo de puertos digitales tipo serie, lo cual permite capturar la informaci3n que describe al espectrograma -tiempo de adquisici3n, voltaje utilizado, etc-, as1 como los datos num1ricos separados de acuerdo a niveles de energ1a en KElectr3n Volts.
2. Se gener3 una t1cnica para crear una espectrobases de datos con el uso corriente del equipo. En la adquisici3n del espectro se permite la definici3n de indicadores de importancia de la muestra -prioridad- y del texto que define sus caracteristicas. Los datos quedan almacenados permanentemente en archivos de computadora, pudi3ndose guardar hasta 110 espectros en un disco flexible de 5 1/4 pulgs, con lo que se puede considerar como resuelto el problema del almacenamiento, pues trabajando con un disco duro de 30 Mb la capacidad de la base se incrementa en casi 23rdenes de magnitud.
3. Para utilizar la capacidad de memoria eficientemente, se utilizaron t1cnicas de compresi3n en los datos almacenados.
4. Se elaboraron t1cnicas de despliegue de informaci3n, tanto num1rico como anal3gico (en monitor RGB, pantalla de video y graficador).
5. Se propuso e integr3 una funci3n de correlaci3n para obtener 1ndices de semejanzas en espectrogramas, lo cual se puede aplicar para 2 espectros particulares, o para uno en particular y un subespacio de espectros (o bien, la base total). Esto se logr3 con la elaboraci3n de programas que acceden autom1ticamente el directorio del disco en cuesti3n y capturan los nombres de archivos; posteriormente se abren los archivos y se obtienen los datos num1ricos para realizar las correlaciones u otros procesos. Todo esto se realiza mediante una sola orden del usuario. Como se vio anteriormente, el l1mite de las correlaciones est1 dado por la capacidad del disco de memoria utilizado, sea una unidad de disco flexible o r1gido.

4.4 ANALISIS ESTADISTICO DE BIOPSIAS PULMONARES

Como ya se ha mencionado, la microsonda de rayos-X (MRX), nos permite realizar análisis químico elemental cualitativo mediante las gráficas de dispersión de rayos-X o espectrogramas, figura 49.

Figura 49
Espectrograma
de rayos X.



La versatilidad del equipo de dispersión de Rayos-X, lo hace aplicable a un gran número de disciplinas, en las que los diagnósticos químicos elementales son factores básicos de investigación. Esto hace que el uso del equipo de Micromecánica, y dada la formación interdisciplinaria que caracteriza al grupo, se extienda a ciencias como la Química, Metalurgia, Biología, Medicina, Mecánica de Suelos, etc.

En esta sección se presenta un trabajo interdisciplinario, efectuado entre los Institutos de Cardiología e Ingeniería. El estudio tiene por objeto la búsqueda de relaciones estadísticas entre enfermedades pulmonares y depósitos de polvos inorgánicos encontrados en tejido pulmonar de pacientes.

Los datos del estudio se obtuvieron con el análisis de biopsias, a través del MEB y la MRX. De los espectrogramas capturados se tomaron muestras en 11 ventanas, cuyos elementos se establecían como causantes de las enfermedades estudiadas, ref.14.

En el capítulo II, se mencionó la posibilidad de realizar mapeos elementales en el MEB con ayuda de la MRX. Para realizarlos se definen en la MRX los elementos por mapear, delimitando un pico del espectro mediante 2 líneas verticales -ventana-. Al definir la ventana y trabajando al MEB en el modo de mapeo, la MRX envía pulsos sobre la señal de video, en los lugares donde se registraron elementos correspondientes a la ventana. El registro de los lugares específicos donde aparecen elementos de la ventana se efectúa durante la adquisición del espectrograma.

Los resultados de un mapeo en el MEE, se observan como en la figura 50.

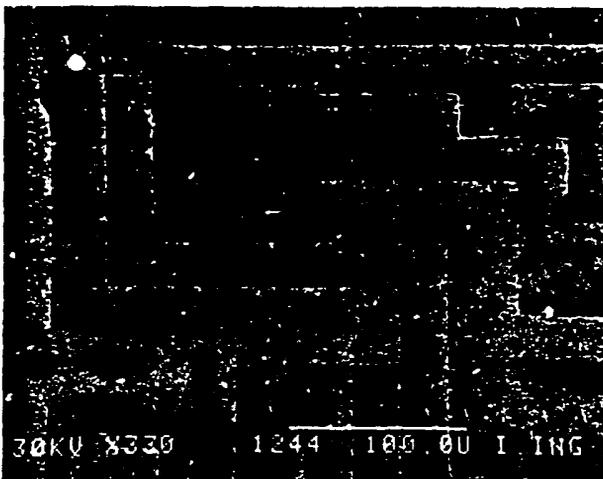


Figura 50. Mapeo de aluminio (puntos blancos) en un circuito integrado.

Al definir la ventana se pueden también enviar los datos numéricos (de los puntos que definen la curva de la ventana) hacia la impresora, lo cual permite que los programas de identificación y adquisición de la sección anterior, se puedan seguir utilizando en la captura de este tipo de espectros. De esta forma, los datos capturados con el puerto serie de la computadora son como los mostrados en la figura 51.

KEVEX - 7000 MICRO - X
 B-19596-82 (N) 00 10
 100 SEC LIVE 152 SEC CLOCK
 2884 C/S INPUT H=10KEV

WDW	WIDTH	INTEG
0A	1.15KEV > 1.35KEV	509
1A	1.40KEV > 1.58KEV	853
2A	1.68KEV > 1.84KEV	282
3A	1.92KEV > 2.10KEV	3330
4A	2.22KEV > 2.40KEV	2860
5A	3.20KEV > 3.42KEV	168
6A	3.56KEV > 3.78KEV	884
7A	4.40KEV > 4.64KEV	178-
8A	6.28KEV > 6.52KEV	109
9A	7.94KEV > 8.14KEV	186
10A	8.54KEV > 8.74KEV	144

BW

Figura 51. Datos de un espectrograma definido por ventanas.

Para no extender innecesariamente la tesis, se presentan los logros del trabajo de programación para obtener los resultados estadísticos:

1. Se diseñó una nueva rutina de adquisición (tomando como base la usada en la sección anterior) y almacenamiento, para generar una base de datos con los espectros definidos mediante ventanas.
2. Se elaboró un programa para manejar la base adquirida, con el que se realizan los cálculos estadísticos.

El diagrama del sistema total se muestra en la figura 52.

ADQUISICION

Debido a que los espectros definidos por ventanas son relativamente pequeños, se optó por guardar íntegramente la información del espectrograma, es decir, no se realizó compresión de datos, de tal forma que el reconocimiento y separación de la información se efectúa en la rutina de estadística.

ESTADISTICA

Los parámetros obtenidos con la rutina de estadística fueron los siguientes:

1. Promedio de las ventanas de carbón.
2. Resta de los promedios de las ventanas de carbón a las correspondientes de las muestras patológicas y normales, denominadas como tipos "G" y "N", respectivamente.
3. Desviación estándar y varianza para cada ventana de los tipos "G" y "N".
4. Histogramas de ventanas de carbón y tipos "G" y "N".

La resta de las ventanas de carbón se realiza por ser un material adicionado a la muestra, con el propósito de prepararla para la observación con el MEB.

Para obtener los parámetros anteriores, el programa solicita únicamente los nombres de las tres familias de archivos por procesar: la del carbón, la del tipo "G" y la del "N".

DESCRIPCION DEL ANALISIS

Una vez definidas las 3 familias por analizar, el proceso inicia con la formación de la tabla de nombres de archivos, la cual permite, posteriormente, la apertura y acceso a los datos de las ventanas en forma automatizada.

Cuando se hace el reconocimiento del archivo sólo se toman los datos numéricos que definen a los puntos de las ventanas; cada ventana, de las 11 identificadas por archivo, se guarda en un bloque de identificación, el cual permite la separación y reconocimiento de los datos. Una vez definidos los datos, se transfieren a fortran para construir el arreglo de información por familia respectiva, figura 53.

Los arreglos tienen los datos de todos los archivos afines, sean C,G o N; estructurados secuencialmente para facilitar el procesamiento de las ventanas específicas. Esto facilita el cálculo de varianza y desviación estándar (para cada ventana de los tipos C,G o N), el despliegue de gráficas en el monitor RGB (al definir tanto el tipo como el número de ventana 1..11) y el envío de datos a impresora.

Una vez más, el lenguaje Fortran se utiliza sólo para realizar las operaciones matemáticas necesarias.

Al programa descrito se le incorporaron las órdenes de directorio particular, adquisición de ventanas, despliegue de histogramas y un menú de órdenes programadas.

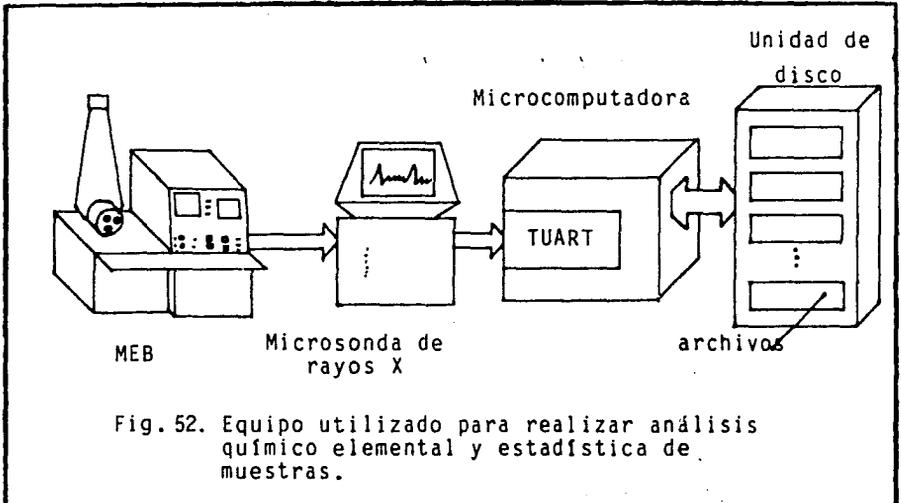


Fig. 52. Equipo utilizado para realizar análisis químico elemental y estadística de muestras.

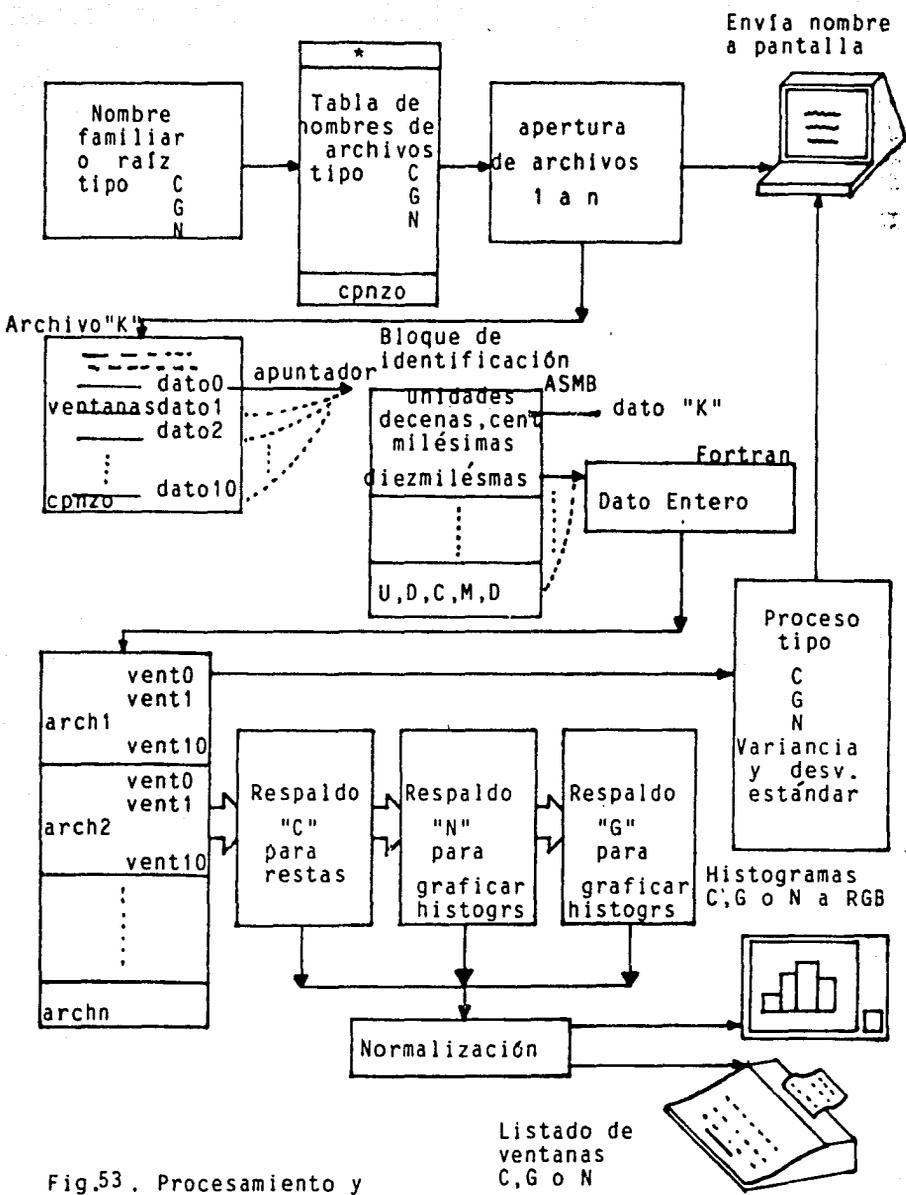


Fig.53. Procesamiento y Estadística de espectrogramas definidos por ventanas.

5.1 CONCLUSIONES

Resumiendo el trabajo desarrollado en los temas de procesamiento de imágenes, se pueden señalar las siguientes conclusiones:

- 1) Se programaron algoritmos de operaciones aritméticas (suma, resta, multiplicación y división), para modificar la brillantez y el contraste de imágenes digitalizadas. Este programa es interactivo, es decir, la elección del tipo de operación por realizar la hace el usuario.
- 2) Se desarrolló la técnica de mejoramiento de contraste por linearización de histogramas, en la cual, las modificaciones se basan en el análisis automático de información de la imagen. Esta técnica constituye la transformación más rápida y sencilla que se tiene hasta el momento, para hacer mejoramiento de contraste automático en imágenes.
- 3) La elaboración de rutinas con operaciones lógicas (AND, OR, NOT y XOR), posibilita la definición de contornos y la identificación de objetos en imágenes.
- 4) Las técnicas programadas para efectuar erosiones y dilataciones binarias, permiten la separación o el acercamiento, respectivamente, de los objetos que integran una imagen. Asimismo se encontró que estas técnicas son muy útiles para obtener imágenes en alto contraste y en forma automática. Además, eliminan el ruido usual en los contornos de objetos, que introducían los primeros programas de alto contraste: lo que se define como suavización de bordes.
- 5) Se programó un filtro paso alto, que permite resaltar las componentes de alta frecuencia en imágenes: esto produce un mejoramiento de los bordes de un objeto.
- 6) El filtro pasa bajas desarrollado, acentúa las regiones de baja frecuencia, lo que se traduce en la suavización del contraste de una imagen. Hasta el momento, en el Laboratorio, este algoritmo produce las imágenes con mejor contraste.
- 7) La técnica de traslado y diferencia, logra una mejor definición en los bordes horizontales y verticales de una imagen, respetando los tonos de gris que se localizan entre bordes.
- 8) La convolución por gradiente permite definir cambios de bordes en alguna de ocho direcciones cardinales.

- 9) El laplaciano posibilita la identificación de bordes en todas direcciones, por lo que, hasta el momento, constituye la mejor técnica del laboratorio para la obtención de contornos. Partiendo de imágenes en alto contraste, obtiene contornos perfectos de objetos, por complicada que sea su forma.
- 10) El programa de amplificación permite visualizar detalles específicos en imágenes digitadas, permitiendo el procesamiento de regiones determinadas por el usuario.
- 11) Con equipo de digitación de imágenes de resolución 255x255x16, se logró por vez primera la adquisición de imágenes de alta resolución de MEB. Actualmente se pueden captar imágenes de 512 líneas compuestas de 512 puntos y la posibilidad de manejar hasta 255 niveles distintos de brillantez por pixel.
- 12) El programa de "modulación Y" y el de simulación de imágenes topográficas, permiten obtener aproximaciones de imágenes tridimensionales. Estos programas posibilitan una mejor comprensión de los rasgos en imágenes.
- 13) Se realizó filtrado optodigital para separar e identificar rasgos de color específico en imágenes. En el caso de digitación de gráficas en papel se logró captar únicamente la información útil, dejando lista la información para programas de análisis.

En cuanto al trabajo en análisis de imágenes, se plantean las siguientes conclusiones.

- 14) Se elaboraron programas de resta de imágenes, para definir los microdesplazamientos en suelos bajo compresión.
- 15) Se desarrollaron rutinas para evaluar índices de porosidad en rocas y suelos, mediante el uso de histogramas y por análisis de objetos en alto contraste.
- 16) Se diseñó una técnica de programación recursiva, que efectúa cálculos automatizados de diámetros de partículas y distribución de tamaños de poros y grietas en materiales. El programa permite realizar, también, evaluaciones cuantitativas del área superficial de sólidos, así como la observación de distribuciones de microdesplazamientos en suelos bajo compresión.
- 17) El procesamiento digital de imágenes desarrollado, se ha aplicado a problemas de mecánica de sólidos y es directamente aplicable en disciplinas como biología, medicina, astronomía, etc.; y sobre todo a problemas industriales.

En relación al sistema diseñado para extraer información de gráficas de difracción de rayos X, se tienen los resultados siguientes (ver secciones 4.1 y 4.2).

- 18) Se elaboró un sistema automatizado, para la interpretación y extracción de información en gráficas digitadas de difracción de rayos X.
- 19) Al programa desarrollado se le adaptó una base de datos para la definición interna de compuestos y para el envío de resultados al usuario.
- 20) Se permite la definición de parámetros de la gráfica (muestra) analizada, tales como: dureza, pH, profundidad del estrato, clave de la muestra, tipo de tratamiento, color, etc. El objetivo es utilizar estos datos como llaves para obtener información de los archivos generados.
- 21) Los resultados de las gráficas analizadas se dan en cinco grupos, de acuerdo a su importancia relativa. En la lista obtenida aparecen los nombres de los compuestos dominantes encontrados.
- 22) El programa se diseñó para permitir el análisis de 50 compuestos, sin embargo, la estructura del archivo se elaboró para expandirlo hasta 100 compuestos.

Respecto al Espectrobanco desarrollado para realizar correlaciones y despliegue automático de espectros, se tienen los siguientes resultados (ver sección 4.3).

- 23) La comunicación entre la microsonda de rayos X y la computadora, se realizó mediante el vínculo de puertos digitales tipo serie, lo cual permite capturar la información que describe al espectrograma (tiempo de adquisición, voltaje utilizado, etc), así como los datos numéricos separados de acuerdo a niveles de energía en K Electrón Volts.
- 24) Se generó una técnica para crear una espectrobase de datos con el uso corriente del equipo. En la adquisición del espectro, se permite la definición de indicadores de importancia de la muestra -prioridad- y del texto que define sus características. Los datos quedan almacenados permanentemente en archivos de computadora, pudiéndose guardar hasta 110 espectros en un disco flexible de 5 1/4 pulgs. Con esto se puede considerar como resuelto el problema del almacenamiento, pues trabajando con un disco duro de 30 Mb la capacidad

de la base se incrementa en casi 2 órdenes de magnitud.

- 25) Para utilizar la capacidad de memoria eficientemente, se utilizaron técnicas de compresión en los datos almacenados.
- 26) Se elaboraron técnicas de despliegue de información, tanto numérico como analógico, en monitor RGB, pantalla de video y en graficador X-Y.
- 27) Se propuso e integró una función de correlación para obtener índices de semejanzas en espectrogramas, lo cual se puede aplicar para 2 espectros particulares o uno particular y un subespacio de espectros (o bien, la base total). Esto se logró con la elaboración de programas que acceden automáticamente el directorio del disco en cuestión y capturan los nombres de archivos; posteriormente se abren los archivos respectivos y se obtienen los datos numéricos para realizar las correlaciones u otros procesos. Todo esto se realiza mediante una sola orden del usuario. Como se vio anteriormente, el límite de las correlaciones está dado por la capacidad del disco de memoria utilizado, sea una unidad de disco flexible o rígido.

En cuanto al trabajo de análisis de espectros por ventanas, se presentan los logros del trabajo de programación para obtener resultados estadísticos (ver sección 4.4).

- 28) Se diseñó una nueva rutina de adquisición (tomando como base la usada en la sección anterior) y almacenamiento, para generar una base de datos con los espectros definidos mediante ventanas.
- 29) Se elaboró un programa para manejar la base adquirida, con el que se realizan los cálculos estadísticos.
- 30) Los parámetros obtenidos con la rutina de estadística fueron los siguientes:
 - a) Promedio de las ventanas de carbón.
 - b) Resta de los promedios de las ventanas de carbón a las correspondientes de las muestras patológicas y normales, denominadas como tipos "G" y "N" respectivamente.
 - c) Desviación estándar y varianza para cada ventana de los tipos "G" y "N".

e) Al programa descrito se le incorporaron las órdenes de directorio particular, adquisición de ventanas, despliegue de histogramas y un menú de órdenes programadas.

5.2 RECOMENDACIONES

Recomendación para continuar el trabajo con imágenes.

- 1) Sería conveniente diseñar equipo electrónico para realizar procesamiento analógico de imágenes. Esto permitiría el procesamiento de las mismas en tiempo real, y además, la posibilidad de transferir las técnicas elaboradas en PDI a procesos industriales.
- 2) En cuanto a la extracción de información en gráficas de difracción, convendría instalar un equipo dedicado junto al difractor de rayos X. El equipo de adquisición se encargaría de hacer lecturas de espectrogramas y de archivar la información, para que posteriormente un programa de análisis obtuviese la información mineralógica. Este sistema tendría las ventajas de no necesitar un equipo de procesamiento de imágenes, y el que los resultados podrían generarse sin la participación del usuario.
- 3) En relación al banco de espectrogramas, convendría desarrollar un programa que utilice la información de los archivos de la base para analizar espectros. Se desarrollarían programas de graficación y una base de datos para permitir el análisis químico elemental. El nuevo sistema permitiría, en cualquier momento, hacer análisis químico cualitativo de cualquier espectro del banco, tal como lo hace la microsonda de rayos X. Para este proyecto se podría utilizar el nuevo equipo de cómputo del laboratorio (AT&T PC) que es más rápido, contiene más memoria y facilita el trabajo de graficación a color.

REFERENCIAS

1. Ri. Peralta, G.Hernández, E.Vicente,J.Prado.
"Microscopic Information Extraction by digital Processing of SEM images", Proc.,26th MWCAS, Vol.1,p.108,(1983).
2. C.García Moreira, G.Corkidi B.
"Sistema digital de adquisición y despliegue en tiempo real de imágenes para su procesamiento". Instrumentación y desarrollo. Vol.1.,No. 5., pag.38., 1985.
3. Marcelo G. Campi.
"Curso No. 23, Percepción remota: perspectivas de avance y cooperación aeroespacial en Latinoamérica" Publicación de la Universidad de Chile. Santiago, Chile, 1986.
4. Castleman,K.R.
"Digital Image Processing", Prentice Hall, N.J.,(1979).
5. Saxton,W.O.
"Computer Techniques for Image Processing in Electron Microscopy", Supp.10, Associate Press, N.J.,(1981).
6. R. Peralta, E. Vicente.
Procesamiento digital de imágenes: aplicaciones y teoría. Informe técnico del I.I. UNAM, Agosto 1986.
7. Ri.Peralta-Fabi,G.Hernández,E.Vicente.
"Microcomputer System for Automated Measurements of Particle Diameter and Porosity in Soils", Proc. IEEE-MEXICON 83, p.19.7.1, (1983).
8. James K. Mitchell.
"Fundamentals of soil Behavior". John Wiley & Sons. (1976).
9. R.Peralta, E.Turcott.
"Investigación teórico experimental sobre la relación entre microestructura y comportamiento mecánico en suelos arcillosos".Informe técnico del I.I.UNAM, Junio 1980.
10. R.Peralta, E.Turcott, G.Hernández.
" Segunda etapa teórico experimental en suelos arcillosos". Informe técnico del I.I.UNAM., Noviembre 1981.
11. Ri. Peralta-Fabi.
"Microrheology of clay-polimer systems". Adv,Rheol,p.497. (1984).

12. R.Peralta.
"Aspectos microestructurales del subsuelo de la Ciudad de México". Informe técnico del I.I.UNAM. Feb.1984.
13. Ri. Peralta y Fabí, E. Vicente Vivas.
"Comparación y archivo automático de espectrogramas mediante procesamiento digital". XXV Congreso Nacional de Investigación en Física, Jalapa, Ver. Dic. 1982.
14. Osornio-Vargas,A.
Peralta-Fabí,Ri.
et al.
"Identificación de polvos inorgánicos en biopsias pulmonares con patología intersticial". Patología, Vol.21(4), p.333, (1983).

A P E N D I C E S

APENDICE A

CRONOLOGIA DE LOS ASPECTOS ESTRUCTURALES DEL "PDI" Y "SA"

En los 1950s.

Se inician experimentos con dispositivos de conversión del cercano infrarrojo (visión nocturna). Comienza la evolución de los lenguajes formales en computadoras. Se inicia la inteligencia artificial al usar las computadoras para escribir programas simbólicos en la solución de problemas. Se comienza el desarrollo de computadoras de lógica celular para hacer reconocimiento de caracteres en máquinas lectoras de: cheques, billetes, recibos, etc.

En los 1960s.

Además de las inmensas computadoras -en tamaño- aparece la computadora de escritorio. Se da inicio a la construcción formal de computadoras celulares. Se desarrolla investigación en graficación por computadora, la cual conduciría, en el futuro, al diseño y manufactura asistido por computadora (CAD/CAM).

En los 1970s.

Aparecen las Minicomputadoras. Se inicia la investigación de modelado geométrico, para producir la nueva generación de sistemas CAD/CAM y se origina el auge del CAD. Se logran resultados en la aplicación de IA como: reconocimiento de frases, medicina, etc. Se comienza la investigación en el desarrollo inteligente de interfaces hombre-máquina, basadas en la tecnología de IA, como: proceso de lenguajes naturales, ingeniería de conocimiento y visión.

El envío de los satélites de Percepción Remota LANDSAT 1, 2, 3, -la carga espacial más fructífera, según la NASA-, SEASAT -con el entonces novedoso radar de apertura sintética de 25 metros de resolución-, SIR-A y B (shuttle image radar), se intensifica el trabajo en PDI ante las nuevas perspectivas de exploración y explotación de recursos naturales.

Aparecen las primeras aplicaciones comerciales en gran escala, de las computadoras celulares, gracias a la reducción de costos en tecnología VLSI.

En los 1980s.

El auge de las Microcomputadoras revoluciona el mercado internacional de las computadoras y ofrece, entre otras aplicaciones, sistemas comerciales de Procesamiento Digital de Imágenes. Se trabaja en la construcción de bases de datos para almacenamiento, captura y actualización de imágenes como soporte al modelado geométrico en CAD/CAM; para usos en: documentación, trazado, análisis ingenieril, simulación y ensamblado automático. Lo importante es que se intenta construir sistemas completos para aplicaciones particulares, automatización total de fábricas, control de producción y sistemas flexibles de manufactura.

La IA se adentra en programas de aplicación comercial y de gobierno en E.U. Hoy día los 3 subcampos de IA son: Procesamiento de Lenguaje Natural, Visión y Robótica, y la Ingeniería de conocimiento -donde se localizaban anteriormente los sistemas expertos-.

Continúa el envío de satélites de prospección, ahora los LANDSAT4,5, con el nuevo mapeador temático de 7 bandas y resolución de 30 metros. La tendencia gubernamental de E.U., es dirigir el uso de satélites sobre la industria privada; actualmente maneja el programa de satélites EOSAT (earth observing satellite, que es una derivación de los LANDSAT) junto con la compañía Hughes. También trabajan en el proyecto SIR-C junto con el Jet Propulsion Laboratory.

APENDICE B

PERSPECTIVAS DE USO DEL "PDI Y LOS SA" COMO FACTOR DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

En lo referente al trabajo futuro del PDI, y tomando como base estructural al diagrama de la sección 1.2, se mencionarán las principales "tendencias mundiales" en esta área.

El impacto en Pruebas No Destructivas (PND) se dirige hacia los sistemas vinculados a Radiografía Industrial. En radiografía de rayos-X, los cambios más notables serán: la eliminación de película de rayos-X; se superarán los problemas de almacenamiento y se resolverá el problema de mejoramiento de imágenes.

Los sistemas con microscopios electrónicos permitirán una mejor inspección al trabajar con imágenes procesadas, las cuales permitirán la extracción de información pictórica relevante, así como la obtención automática de mediciones físicas. En el campo de los semiconductores se permitirá la inspección de tolerancias en la producción de componentes microelectrónicos.

La termografía, ultrasonido, tomografía axial computarizada y la resonancia magnética nuclear, mejorarán la ayuda en diagnósticos por los avances en la restauración y mejoramiento de imágenes. Actualmente, por ejemplo, la Cardiología ha tenido avances técnicos muy importantes con la tomografía, ultrasonido y la resonancia magnética nuclear. En cuanto a usos industriales, la termografía infrarroja se seguirá usando para: detectar componentes eléctricas y electrónicas con problemas de calentamiento; inspección de plantas petroquímicas; pruebas de calidad en hornos; evaluación de aislamientos térmicos, ya sea en aviación, embotelladoras, cámaras, llantas, hornos de microondas, inspección de obras de arte, turbinas, etc.

Sin restar importancia a las técnicas anteriores, el área que tendrá mayor apoyo, tecnológicamente, será la de aplicaciones en visión, siendo éstas: máquinas industriales, satélites y principalmente las tecnologías militares. La ayuda tecnológica a la que nos referimos comprende los desarrollos en electrónica de muy alta escala de integración, la cual permitirá la creación y uso masivo de nuevas arquitecturas en computadoras. A su vez generará la necesidad de crear algoritmos programados que sean eficientes y rápidos. Por otro lado, los avances en lenguajes naturales facilitarán aún más la aplicación y uso de los sistemas automatizados a nivel industrial. Por último, debe enfatizarse que gran parte de la investigación futura se concentrará en el desarrollo y mejoría de sensores, así como

de los biosensores (transconductores que miden parámetros biológicos como calor, contenido químico, luz, actividad iónica o neuronal, sonido y presión) para hacer más productiva su aplicación. Los criterios a usar para justificar técnica y económicamente un sistema de visión son: alta velocidad de proceso, flexibilidad de aplicaciones, mantenimiento a nivel de usuario, robustez y las facilidades interactivas y de producción.

En la industria de los semiconductores se incrementará el uso de PDI en áreas de inspección de circuitos integrados como: calidad de mascarar, inspección de obleas, detección de dados mal colocados, partes extraviadas, cables rotos, cortocircuitos y rupturas.

En la industria eléctrica y electrónica los sistemas de visión se utilizan para la inspección de componentes, circuitos impresos, búsqueda de partes dobladas o perdidas y en la inspección de circuitos híbridos.

En la industria alimenticia y farmacéutica, el PDI permite la detección de defectos en productos (botellas rotas, etc.), así como el sellado y empaqueo de los artículos producidos.

Para la industria Aeroespacial, se tiene la sustitución de los antiguos tableros analógicos por nuevos paneles de control automatizados. Tal es el caso de los Boeing 757 y 767, así como la industria Airbus A310, donde se tienen mapas de radar a color, la trayectoria planeada gráficamente, despliegues gráficos de velocidad y dirección del viento en que se localizará la nave a los 30, 60 y 90 segs posteriores. La información proviene de: radar, receptores VHF, radioaltímetros y el recién desarrollado giroscopio laser (que usa el efecto Doppler para encontrar posición, velocidad y orientación de la nave en cualquier momento).

Se encuentra en desarrollo un despliegue automatizado para tráfico aéreo por parte de la NASA. Entre otras cosas, pretende mostrar gráficamente a la nave en cuestión junto a las naves que vuelan en su derredor. Otra técnica introducida en aviación civil (se usa militarmente desde hace 21 años), es la información para aterrizar con malas condiciones de tiempo. Se trabaja para producir gráficas tridimensionales para aterrizar con visibilidad baja o nula.

Cuentan también con Jets automatizados para vigilancia, usados en la detección de: pequeñas embarcaciones en apuros, información ecológica, traficantes de drogas, etc. Las naves tienen sistemas de percepción remota para todo tipo de clima. Incluyendo radar, barredor infrarrojo/Ultravioleta, cámara de reconocimiento aéreo y sistema de despliegue y adquisición de datos para trabajar noche y día.

Las aplicaciones militares incluyen: mapeo y cartografía

electrónica desde Jets (respaldados por Cias como la Hughes, Harris, etc) en tiempo real, utilizando procesadores de señales de alta velocidad (lógica ECL) y algoritmos especiales. Las imágenes se despliegan automáticamente con la ayuda de radar, sensores infrarrojos, etc. Esta herramienta permite el vuelo a bajas alturas y el curso de trayectorias en contornos terrestres para evadir radares antiaéreos. Estos sistemas pueden guardar información digital de mapas aéreos de hasta 250 000 millas cuadradas, para obtener después información de elevaciones de terreno, ríos, caminos, poblados, concentraciones de tropas, refugios antiaéreos, etc.

Se realizará investigación para generar mapas de combate en tiempo real.

En el campo del arte, el POI posibilitará la cada día más utilizada pintura y elaboración de carteles por computadora. En el renglón de la animación seguirá utilizándose y desarrollándose por sus características de rapidez y bajo costo. Una de las áreas más espectaculares de la animación computarizada, es la creación de imágenes tridimensionales, donde no hay restricciones de afocamiento, físicas ni de atracción gravitatoria. Esta es otra razón para continuar el trabajo en modelado por computadora.