

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE CIENCIAS

**"PROCESO DIGITAL Y FOTOGRAFICO DE
INFORMACION EN IMAGENES"**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
F I S I C O
P R E S E N T A**

JORGE MARCELINO SIFUENTES LITTLEBOY

MEXICO, D. F.



**1982 EXAMENES
PROFESIONALES**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

Página

PRÓLOGO	i
AGRADECIMIENTOS	ii
CAPITULO I.	
INTRODUCCION	1
CAPITULO II.	
REGISTRO FOTOGRAFICO DE LA IMAGEN	
1. Breve Descripción del Proceso Fotográfico	5
2. Propiedades Fotográficas	6
2.1 Propiedades Sensitométricas	8
2.2 Eficiencia (Rapidez) Fotográfica. Derivación y Uso	13
2.2.1 Eficiencia Cuántica.	14
2.2.2 ASA	15
2.2.3 Relación entre Rapidez y Contraste	16
2.2.4 Factores que Afectan la Rapidez Fotografi- ca	17
2.3 Densitometría	19
2.4 Sensibilidad Espectral	21
3. Propiedades Estructurales de la Imagen	
3.1 Granularidad	24
3.2 Poder de Resolución	25
3.2.1 Factores que Afectan el Poder de Resolu- ción	26
3.3 MTF (Función de Transferencia de Modulación) y su Uso	27
3.4 Definición	30
3.4.1 Turbiedad y Contraste.	32
4. Efectos de la Imagen	34
4.1 Efectos de la Exposición.	34

4.1.1	Efectos de Reciprocidad	34
4.1.2	Efecto de Intermittencia	36
4.1.3	Efecto Clayden	37
4.1.4	Solarización.	37
4.1.5	Efecto Herschel	37
4.1.6	Efecto Sabattier.	38
4.2	Efectos del Procesado.	39
4.2.1	Efecto de Borde	39
4.2.2	Efecto Eberhard	40
4.2.3	Efecto Kostinsky	41
5.	Detección Fotográfica de Señales Débiles.	41
5.1	Formación de la Imagen Latente	42
5.2	Clases de Situaciones de Registro.	44
5.2.1	Detección Clase I: Alto Cociente Señal/Ruido	44
5.2.2	Detección Clase II: Bajo Cociente Señal/Ruido	47
6.	Técnicas para Incrementar la Rapidez Efectiva	48

CAPITULO III.

REGISTRO DIGITAL DE LA IMAGEN

1.	Representación Binaria de Información	51
1.1	Elementos de Almacenamiento de Información	52
2.	Representación Digital de la Imagen	55
2.1	Tratamiento Matemático de la Formación de Imágenes	56
2.2	Densitómetro Digital	60
2.3	Reconstrucción y Desplegado de la Imagen	63
2.3.1	Características del Despliegue.	64
3.	Tratamientos Digitales	
3.1	Histograma de Niveles.	65
3.1.1	Propiedades del Histograma.	67
3.2	Operaciones de Punto	69
3.3	Propiedades del Sistema Visual Humano.	74
3.4	Operaciones de Ventana	75

CAPITULO IV.

EXPERIMENTOS EN EL LABORATORIO FOTOGRAFICO

1. Introducción	77
2. Técnica de la Máscara Afocal	78
3. Descripción del Equipo	83
4. Procedimientos Efectuados.	84
5. Resultados	87

CAPITULO V.

EXPERIMENTOS EN EL COMPUTADOR

1. Descripción del Digitalizados.	95
1.1 Especificaciones del Sistema.	98
2. Descripción del Computador	101
2.1 Especificaciones del Sistema.	101
3. Procedimientos Efectuados.	103
3.1 Programas	111
3.1.1 Aplicación del Filtro.	111
3.1.2 Obtención del Rango.	112
3.1.3 Obtención del Histograma	123
3.1.4 Impresión de la Imagen	129
4. Resultados	140

CAPITULO VI.

CONCLUSIONES	165
APENDICE A.- Aritmética Binaria	173
APENDICE B.- Elementos del Lenguaje Ensamblador.	179
BIBLIOGRAFIA.	182

PROLOGO

El contenido de esta tesis surgió principalmente con base en el artículo de los doctores Saul Hahn y Eugenio Mendoza: "Simple enhancement techniques in digital image processing", en el que a partir de operadores basados en derivadas parciales, se propone la familia de filtros que sirvió como punto de partida para los experimentos de la parte digital de este trabajo.

Por otro lado, en vista del importante papel que juega la fotografía en varias disciplinas científicas y considerando que aún frente a los adelantos en la detección y proceso electrónicos de imágenes, el registro fotoquímico constituye la herramienta idónea para algunas aplicaciones, trabajé la técnica fotográfica de la máscara afocal, según la descripción hecha en los artículos enumerados en la bibliografía. Lo anterior con el propósito de evaluar las características propias de las técnicas digital y fotográfica para comparar posibilidades y limitaciones.

Pretendo ofrecer a mis compañeros de licenciatura una introducción a los métodos de tratamiento de imágenes, considero que la recopilación (Capítulos II y III) puede servir como primera referencia. Por último, y principalmente, pretendo añadir un modesto complemento al artículo mencionado, observando los efectos del filtro propuesto.

Aunque en el Capítulo III se bosqueja el tratamiento matemático de los procesos de formación de imágenes, no se pretende justificar técnicamente las técnicas en el tratamiento de las mismas. Este trabajo surge como resultado de sesiones de trabajo en el laboratorio fotográfico y en el computador, junto con el estudio y exposición de sus principios técnicos fundamentales. Considero al desarrollo lógico de los algoritmos y su programación como una contribución original de este trabajo.

Agradezco:

- Al doctor Eugenio Mendoza, por su paciencia y atinada dirección.
- A los doctores Jorge Pérez Peraza y Carlos Chavarría, por su atención y comentarios.
- A Deborah Dultzin, quien fue mi maestra en el aula, por su disposición para leer y comentar esta tesis y por haberme enterado de Urania, musa importante en mi concepto del propósito humano.
- A Jaime Pimentel, por su entusiasmo personal en la lectura - del manuscrito y por sus valiosas anotaciones.
- A Lupita Rodríguez, por el trabajo mecanográfico.
- A Luis Patrón, por confiar a mi cargo el computador empleado y por la libertad de usarlo con este propósito.
- Al Plan Nacional Hidráulico, dependencia de la S.A.R.H., donde se digitalizó la imagen tratada.
- A la U.N.A.M., por el acceso a la educación superior.
- A la Facultad de Ciencias, por mi formación profesional.
- A mis maestros.
- A mis amigos.

Jorge Sifuentes L.

CAPITULO I

INTRODUCCION

El proceso digital de imágenes o la manipulación de imágenes mediante un computador, constituye un desarrollo reciente en la historia de la ciencia y ya ha sido aplicado prácticamente a todo tipo de imágenes, obteniéndose resultados de diversos grados de importancia. Se trata de una tarea multidisciplinaria que involucra diversos aspectos de óptica, matemáticas, electrónica, fotografía y tecnología computacional.

Varios factores se combinan para indicar un futuro activo en esta disciplina, de los cuales enunciamos aquí el decreciente costo de los equipos de computación y la creciente disponibilidad de equipo digitalizador y de reconstrucción de imágenes digitales, aunados a algunas tendencias tecnológicas recientes.

Las recientes (1980 a la fecha) revisiones que se han hecho de nuestros conocimientos sobre el Sistema Solar, son consecuencia de detección electrónica y registro de las imágenes, mediante instrumentos a bordo de las sondas espaciales que han cubierto importantes etapas de sus programas de transmisión de información (proyectos Voyager y Venera). Cabe mencionar que la próxima posible revisión sensible de estos conocimientos, se espera para el año de 1986, cuando la sonda Voyager 2 alcance al planeta Urano y, cuando menos, otros dos proyectos (uno ruso y uno europeo) proporcionen información sobre el cometa Halley.

La excelente calidad de las imágenes publicadas no es resultado únicamente del equipo instalado en los vehículos; en su mayoría estas imágenes han sido procesadas digitalmente en los Laboratorios Jet Propulsion (JPL), en California, E.U.A., antes de ser difundidas. Esta es, posiblemente, la parte más conocida del proceso digital de imágenes al público en general, pero se trata de un solo elemento del creciente volumen de investigaciones y aplicaciones de esta disciplina. Siendo la

visión el más poderoso de los sentidos humanos, parece natural que el computador digital se aplique cada vez más al tratamiento de imágenes.

Otros factores contribuyen a la creciente popularidad y uso del proceso digital de imágenes, uno muy importante ha sido la necesidad. Generalmente, no existe sustituto a la imagen para contener toda la información relevante a un propósito definido; pero la necesidad por sí sola no explica el auge de esta disciplina, las imágenes también pueden ser procesadas por medios ópticos y el desarrollo del laser ha -- proporcionado, de hecho, resultados en el proceso óptico de imágenes. El proceso digital de imágenes ha crecido por las mismas razones que todas las demás aplicaciones de proceso de señales digitales, principalmente:

- Avances tecnológicos.- Tecnología de circuitos integrados en estado sólido.
- Avances en Software.- Descubrimiento de algoritmos rápidos y eficientes.
- Flexibilidad.- Se tiene mayor flexibilidad para aplicar algoritmos de proceso no lineal, procesos iterativos y procesos - que requieren comparaciones y toma de decisiones, comparado - con los sistemas ópticos.

Otras razones de desarrollo en este campo, son cada una de las diferentes aplicaciones que se investigan; tenemos diagnósticos médicos, en los que se hace un conteo de células en la sangre y análisis de cromosomas, la percepción remota ha proporcionado resultados tangibles al permitirnos medir y ubicar con mayor precisión los recursos terrestres a partir de imágenes de nuestro planeta, obtenidas por diversos satélites. Es razonable esperar que el proceso digital de imágenes juegue un importante papel en las actividades del futuro.

Sin embargo, la detección electrónica de imágenes no ha remplazado - completamente a la fotografía en la investigación, a pesar de cámaras de televisión ultra-sensibles, arreglos de diodos en estado sólido, - tubos de rayos catódicos, proceso digital y sistemas de reproducción, los investigadores frecuentemente escogen la no tan humilde fotografía.

Lo anterior, es debido a que las emulsiones fotográficas modernas combinan varias habilidades importantes, primero, el formato puede ser - del tamaño necesario dentro de los límites prácticos, permitiendo la mejor resolución y ancho margen de ampliación.

Segundo, aunque no es tan sensible como los mejores dispositivos electrónicos, no requiere de tratamiento especial para trabajar bien, algunos detectores electrónicos deben mantenerse muy fríos para trabajar. Tercero, la emulsión fotográfica puede recolectar luz en forma acumulativa, esto es, mediante exposiciones prolongadas. Algunos de detectores electrónicos pueden hacer esto último, pero ninguno reúne las tres características.

Otra virtud de la emulsión fotográfica es su gran capacidad de almacenamiento de información. En condiciones promedio, un área del formato comercial de 35mm (24 x 36 mm) puede contener la misma cantidad de unidades de información que la memoria real y dispositivos de almacenamiento de un computador de tamaño respetable (más de 2 Megabytes, considerando un material con resolución de 50 líneas por mm.).

La fotografía es un sistema de registro de información luminosa, simple y relativamente de bajo costo, que ofrece un registro permanente, fácilmente reproducible y con información más allá de los límites del espectro visible. Ningún otro sistema de detección puede ofrecer esto, siendo compacto y accesible.

La presente tesis tiene el propósito de comparar los resultados de

la aplicación de técnicas fotográficas y de proceso digital sobre una misma imagen. Considerando la diferencia de costo entre una técnica y la otra, el resultado de la técnica fotográfica puede ofrecer la información necesaria antes de justificarse el uso de costosos sistemas de cómputo.

En esta tesis también se bosquejan los elementos básicos del registro fotográfico y proceso digital de imágenes, se muestran aplicaciones - específicas para ilustrar las técnicas descritas.

REGISTRO FOTOGRAFICO DE LA IMAGEN

1.- Breve Descripción del Proceso Fotográfico

Cuando el material fotográfico es expuesto a la luz, parte de la radiación es absorbida por los cristales de haluros de plata suspendidos en la emulsión que lo cubre; dicha radiación libera algunos iones de plata de su liga con los iones del halógeno (generalmente Bromo), formando núcleos potenciales de revelado (imagen latente), la cantidad de cristales afectados por la exposición es proporcional a la intensidad de la luz incidente.

El proceso de revelado es la conversión de la imagen latente en visible y consiste en exponer la emulsión a un agente alcalino que se llama revelador y que ataca los iones libres de plata, reduciéndolos a pequeños granos de plata metálica que quedan depositados en la emulsión.

Una vez que el revelador ha actuado por un tiempo apropiado, el proceso debe detenerse. Si solamente se retira a la emulsión del revelador, la gelatina soporte habrá absorbido una cantidad de solución que seguirá actuando, provocando un revelado disparate. Si se lava el material, efectivamente se eliminará el revelador del material, pero esto tomará un tiempo significativo en comparación con el tiempo total de revelado requerido, provocándose también resultados no deseados fuera de control. Este problema se resuelve aprovechando la condición de solución alcalina del revelador, aplicando una solución ácida para neutralizarlo, dicha solución ácida es conocida como agente detenedor.

Los haluros de plata no expuestos y, por lo mismo, no revelados, deben ser removidos de la emulsión debido a que siguen siendo sujetos de reducción por efecto acumulativo de la luz, con el consiguiente oscurecimiento de la imagen revelada. Una solución fijadora es aquella que convierte los haluros insolubles al agua, en compuestos solubles que son removidos lavando el material.

MATERIAL	SUSTANCIAS QUIMICAS
Emulsión	Bromuro de plata en base de gelatina
Revelador	Hidroquinona en preservativo con acelerador (alcalino)
Detenedor	Acido acético al 3% en agua
Fijador	Tiosulfato de sodio o de amonio

Tabla 2.1 Sustancias químicas típicas involucradas en el proceso fotográfico.

Las características del registro fotográfico dependen en gran medida de la respuesta que el material presenta al ser expuesto a radiación electromagnética; esta respuesta es medida y estudiada por la sensitometría. Las propiedades estructurales y los efectos de la imagen fotográfica también contribuyen a la medida en que el registro corresponde a la imagen original fotografiada.

2.- Propiedades Fotográficas

Definimos la exposición E como la cantidad de energía luminosa por unidad de superficie y expresada como:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} I(t) dt. \quad (E = It \text{ para } I \text{ constante})$$

donde:

t = tiempo en segundos

I = Intensidad luminosa o iluminación, medida en lumens/m²

(1 lumen = 680×10^{-7} ergs/segundo para una fuente luminosa monocromática con longitud de onda de 5550 Å.)

La respuesta del material fotográfico a la exposición se verá después del revelado como un oscurecimiento en el caso de material negativo o como un aclaramiento en el caso de material reversible (transparencia); para el propósito de este estudio, se tratará con material fotográfico negativo.

El oscurecimiento, consecuencia de la exposición, será directamente - proporcional a ésta, generalmente no en forma lineal y se deberá a la acumulación de partículas de plata metálica.

En el caso de que el vehículo de la emulsión fotográfica revelada sea un material translúcido, como la película de celuloide o placas de vidrio, podemos determinar la transmitividad T , de una cierta área, como la fracción de la intensidad luminosa incidente sobre tal área, - que se transmite a través del material. Esto se representa matemáticamente como el cociente $T = I_x / I_0$, donde las cantidades involucradas se representan en la figura 2.1.

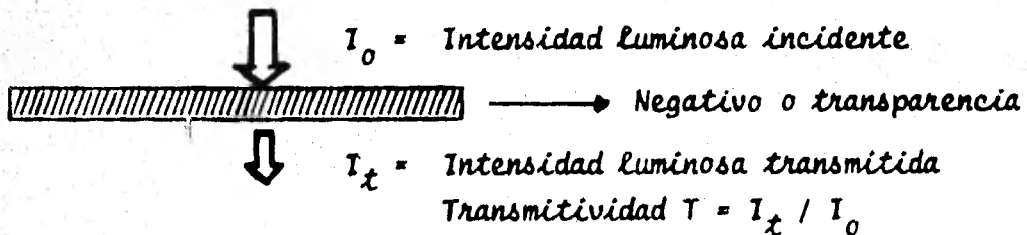


Figura 2.1.- Esquema ilustrativo de la transmitividad

A partir de la transmitividad, definimos las siguientes cantidades:

$$\text{Opacidad, } O = 1 / T$$

$$\text{Densidad, } D = \log_{10} (1/T)$$

(Se ha demostrado que $D = K M_{Ag}$ donde M_{Ag} es la masa de la plata depositada y K una constante de normalización)

Para el caso de material opaco, como el papel fotográfico, se trabaja a partir de la reflectividad R , en lugar de la transmitividad y está dada como la fracción de la intensidad luminosa incidente sobre una - cierta área, que es reflejada por el mencionado material.

Concluimos esta sección aclarando que no hay relación única entre la exposición y la densidad obtenida, ya que esta última es afectada por un cierto número de factores adicionales, de los que mencionaremos - dos: características del proceso de revelado, y consideraciones espectrales de la radiación a que se expone el material.

2.1.- Propiedades Sensitométricas

Como se mencionó antes, la respuesta del material fotográfico a la radiación electromagnética, es medida y estudiada por la sensitometría. Las propiedades sensitométricas básicas son representadas convenientemente al graficar las densidades fotográficas contra el logaritmo de - las exposiciones que las produjeron; la gráfica resultante es llamada curva característica de un material fotográfico, también se le conoce como curva HD, en honor de Ferdinand Hurter y Vero Charles Drifffield, químicos ingleses (Hurter nacido en Suiza), quienes desarrollaron este método e iniciaron en 1890 la ciencia de la sensitometría.

- Curva Característica.- Para graficar la curva característica, es - apropiado usar el logaritmo de la exposición para el eje de las abscisas; la densidad, que también es una cantidad logarítmica (logaritmo - de la opacidad), se usa para el eje de las ordenadas, por conveniencia de escala y porque el ojo humano detecta en forma logarítmica las dife - rencias de la luminosidad. La forma de la curva muestra la manera - cómo una emulsión fotográfica responde a la exposición, manteniendo fijas otras variables como serían entre otros, el proceso de revelado y características espectrales de la radiación involucrada.

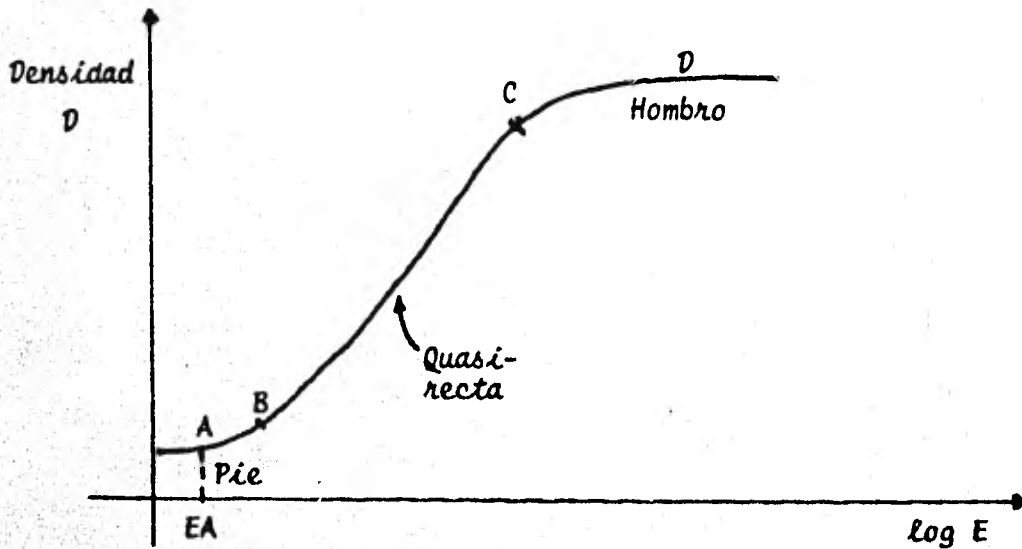


Figura 2.2.- Curva característica típica

De acuerdo a la figura 2.2, se explica a continuación cada una de las partes constitutivas de una curva característica.

- Nivel de Neblina.- Para poca exposición o exposición nula, el material fotográfico, después de revelado presentará una densidad diferente de cero, debido a las siguientes causas principales:

- a).- El proceso de revelado fijará algunas partículas de plata
- b).- El vehículo de la emulsión (base) no es perfectamente transparente.
- c).- Edad de la emulsión, ver página 19.

Lo anterior determina una densidad mínima llamada nivel de neblina, que no varía aunque se incremente la exposición; Esto es, existe un intervalo de exposiciones para el que la emulsión no ofrece respuesta. En la curva característica, esta región está representada por un segmento rectilíneo horizontal, comprendido entre el cero y E_A , que puede considerarse como la exposición umbral para la cual la emulsión comenzará a responder a una exposición creciente.

- *Pie o base de la curva.*- La parte de la curva comprendida entre los puntos A y B es conocida como el pie de la curva. En esta región, una diferencia en la exposición $\Delta \log E$ provocará una muy pequeña diferencia ΔD en la densidad generada; diferencia apenas notable sin instrumentos de medición. El pie de la curva varía en longitud y forma para cada emulsión, y su forma es un factor importante en la elección de una emulsión para un uso particular.
- *Línea recta.*- En la sección media de la curva característica, puntos B y C en la figura, la densidad sigue una relación casi lineal con el logaritmo de la exposición, lo que se refleja en un cambio ΔD en la densidad proporcional a una diferencia en la exposición $\Delta \log E$.
- *El hombro.*- La parte de la curva comprendida entre los puntos C y D es conocida como el hombro de la curva; aquí, la tangente de la curva disminuye al aumentar la exposición hasta describir finalmente una línea horizontal. En esta región, diferencias en la exposición no registran diferencias en la densidad y se pierde detalle en las partes muy luminosas del sujeto fotografiado.

La mayor densidad observada para una exposición máxima y proceso revelador dado es llamada densidad máxima y es usualmente menor que la mayor densidad que el material es capaz de ofrecer con revelado extendido o con revelador más activo.

- *Contraste.*- El contraste en una imagen fotográfica es una impresión visual y una característica medible. Visualmente, el contraste es el grado al que los tonos de la imagen están distintamente separados entre sí. La impresión global está relacionada con la intensidad de los tonos individuales y también con la intensidad de los tonos adyacentes. El contraste puede ser medido como el grado de diferencias entre varias densidades de plata en imágenes en blanco y negro.

Cuando se habla del contraste de una imagen, se refiere usualmente al contraste global, esto es, la diferencia entre las densidades máxima y mínima, la que puede ser llamada "escala" o en términos de medición, "intervalo de densidades". En un negativo, la escala global de densidades es la diferencia entre la densidad del nivel de neblina (la mínima) y la densidad de máxima exposición.

- Gamma.- La pendiente de la parte casi lineal de la curva característica es conocida en fotografía como gamma y se representa por la letra griega del mismo nombre. Gamma es una indicación del contraste inherente o tasa de cambio de la densidad con la exposición de una emulsión fotográfica. Este parámetro ha sido usado como referencia para determinar el tiempo de revelado óptimo para una cierta aplicación, a partir de graficar gamma como función del tiempo de revelado.

La gamma representa la constante de proporcionalidad entre $\log E$ y D que tenemos en la imagen revelada, en relación a la imagen original en el intervalo de exposiciones de la parte lineal de la curva característica. Una imagen con una gamma de 0.6 tiene una compresión de 60% en los tonos que se registran en la parte lineal; esto es, si dos tonos en la imagen original que expone la emulsión tienen una diferencia de densidades de 1.0 y el material es revelado a una gamma de 0.6, la diferencia de densidades entre estos dos tonos en el registro fotográfico será de 0.6, indicando que tanto se acercaron los tonos en la imagen final con respecto a la imagen original.

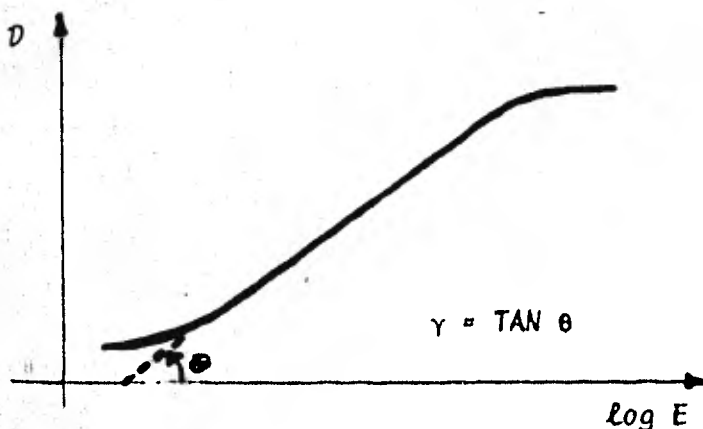
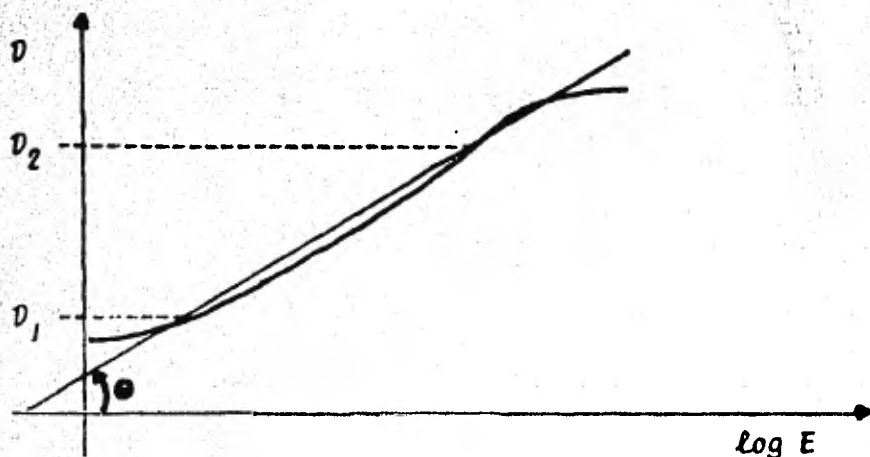


Figura 2.3.- Gamma

La gamma es usada principalmente en fotografía aérea y en el proceso de cinematografía, pero como está relacionada solamente con la porción semi-lineal de la curva, representa una indicación parcial de las características del contraste del negativo fotográfico.

- Índice de Contraste.- Las emulsiones modernas son expuestas y procesadas de forma que un número significativo de tonos oscuros se registran en el pie de la curva característica. Las características de contraste de tales negativos es representada con más precisión por el Índice de contraste, que involucra el pie de la curva, cosa que no hace la gamma. El Índice de contraste es la pendiente de un segmento de recta que une los dos puntos de mayor y menor densidad útiles en un negativo blanco y negro de tonos continuos.



Índice de contraste = $\text{Tan } \theta$

D_1 = menor densidad útil

D_2 = mayor densidad útil

Figura 2.4.- Índice de contraste

El intervalo de densidades en un negativo es la clave para obtener -- calidad consistente en impresiones, y el control del índice de contraste con el revelado es el control maestro para obtener negativos con -- un intervalo de densidades que sea consistente.

- *Latitud.*- El término *latitud* es vagamente usado para lo que debería ser llamado *tolerancia* en la exposición. Dicha *tolerancia* en una -- emulsión se describe como la máxima cantidad de sobre-exposición o sub-exposición compatible con la producción de una imagen aceptable.

2.2.- Eficiencia (Rapidez) Fotográfica. Derivación y Uso.

La interacción entre luz y materia es sujeto de estudio de una rama de la ciencia llamada *fotoquímica*; sus leyes fundamentales son cinco y se enuncian a continuación:

- I.- La intensidad de la luz incidente en un medio fotosensible decrece exponencialmente con la distancia de la fuente luminosa (Ley de Lambert).
- II.- La intensidad de luz transmitida por un espesor dado de un medio con absorbente, decrece exponencialmente con la concentración del absorbente en el medio (Ley de Beer).
- III.- El cambio químico puede ser producido solamente por la luz absorbida (Ley Grotthus-Draper).
- IV.- La cantidad de cambio químico es proporcional a la exposición (Ley Bunsen-Roscoe).
- V.- El número de moléculas que reaccionan ante la influencia de la luz es igual al número de fotones absorbidos (Ley Einstein de equivalencia fotoquímica).

De las leyes anteriormente enunciadas, las tres primeras son inviolables y de acuerdo al sentido común; de la tercera diremos que aunque parece demasiado obvia ante las ideas modernas sobre la energía como para ser enunciada, es sorprendente como algunos autores sobre fotografía la olvidan y asumen que la acción fotoquímica puede ocurrir - aún sin absorción de luz, lo que contradice la primera ley de la termodinámica.

De las dos últimas nos ocuparemos en esta sección y aclaramos que - aunque algunos procesos fotoquímicos se desvían, aún considerablemente de obedecerlas, describen tan plenamente lo que debe suceder, que dichas desviaciones son siempre explicadas satisfactoriamente, en lugar de contradecir las mencionadas leyes.

2.2.1.- Eficiencia Cuántica.- La habilidad para detectar una imagen es afectada por la tasa aleatoria de llegada de los fotones de la exposición (así como de su efecto actínico). La eficiencia con la que una emulsión produce una imagen detectable puede ser expresada como su eficiencia cuántica, este concepto se aplica a dar una base de comparación entre la fotografía y otros sistemas detectores.

$$\text{Eficiencia Cuántica} = \frac{\text{fotones absorbidos}}{\text{fotones incidentes}}$$

Cuando la ley de Einstein de la equivalencia fotoquímica se cumple, - este cociente equivale a la unidad. Cuando es menor a la unidad, algunos fotones son absorbidos sin provocar reacción alguna.

2.2.2.- ASA.- La rapidez fotográfica es una expresión numérica de la sensibilidad de una emulsión de manera que se pueda aplicar al cálculo de la exposición requerida para lograr un resultado óptimo - bajo condiciones diversas. Muchos sistemas de referencia fueron propuestos y usados en el pasado, basados en diferentes criterios como "gradiente mínimo útil" y "densidad fija".

Actualmente se ha generalizado el uso del estándar ASA PH 2.5 que se basa en un criterio de densidad fija de $D = 0.1$ para materiales blanco y negro y propósitos "pictóricos" bajo la luz del día y obtenido bajo la restricción de las siguientes variantes:

- Mantenimiento de la muestra a $20 \pm 5^\circ\text{C}$ y 60 ± 10 por ciento de humedad relativa por tres meses antes de la medición.
- Tiempo de exposición entre $1/20$ y $1/80$ de segundo
- Fuente luminosa con temperatura de color de 2850°K filtrada para ofrecer calidad de luz de día.
- Uso de una escala neutral de exposiciones con incrementos predeterminados.
- Revelado y todas las condiciones del proceso.

Los números de la rapidez fotográfica se derivan de la expresión

$$S = R/E$$

donde:

R es una constante arbitraria según el sistema y convención empleados,

E es la exposición en lumens·segundo/ M^2 necesaria para dar la densidad que satisface un criterio definido de calidad pictórica.

Según el estándar ASA,

$R = 0.8$, de manera que una emulsión que requiere

$E = 0.01$ lumens segundo/ M^2 para dar la densidad requerida de $D = 0.1$, se caracteriza por una rapidez ASA de

$$S = 0.8/0.01 = 80 \text{ ASA}$$

2.2.3.- Relación entre Rapidez y Contraste.- En muchas aplicaciones sensitométricas no es necesario medir el valor de la exposición, sino simplemente comparar la rapidez de diferentes emulsiones o procesos - para determinar la rapidez de un material. Lo anterior involucra medir la separación $\log E$ de dos curvas características, lo que resulta suficientemente simple si las curvas son paralelas, pero en muchos - casos las curvas son de una forma diferente o no son paralelas y la separación en la exposición depende en el punto de densidad usado para - la comparación.

Para ilustrar la interrelación entre rapidez y contraste y cómo afectan la elección de un punto de referencia para la rapidez, considérense las curvas características mostradas en la figura 2.5. La curva B muestra mayor contraste que la curva A.

En $D = 0.6$ sobre el nivel de neblina, ambas tienen la misma rapidez.

En $D = 0.1$ sobre el nivel de neblina, A tiene el doble de rapidez que B ($0.3 \log E$ más rápido), mientras que en $D = 1.6$ sobre el nivel de neblina, B es más rápido que A.

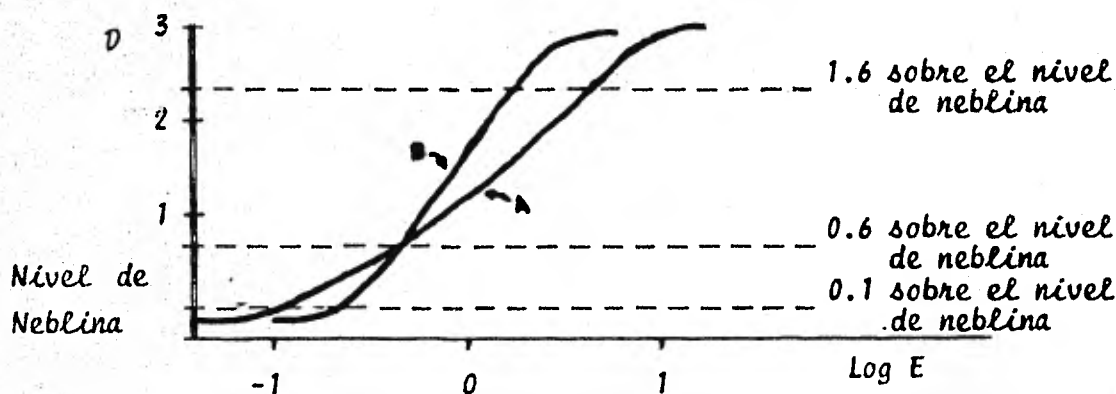


Figura 2.5.- Relación Entre Rapidez y Contraste

Si se requiere una densidad $D = 2$ con exposición mínima, el material B sería la alternativa apropiada. Si se requiere alcanzar la misma densidad $D = 2$ en una escena con mayor escala tonal, el material A sería el apropiado, aunque requerirla de mayor exposición. El punto importante es hacer notar que los valores de rapidez basados en un punto no presentan relación constante con materiales con valores de rapidez basados en otro punto.

La tabla 2.2 muestra algunas de las densidades usadas como referencia para determinar la rapidez en aplicaciones específicas; el principio consiste en escoger un nivel de densidades apropiado para un desempeño óptimo según la aplicación en cuestión.

MATERIAL	DENSIDAD	FUENTE
Material negativo monocromático	0.1	ASA PH 2.5
Radiografía Industrial	1.5	ASA 2.8
Radiografía Médica	1.0	ASA 2.9
Microfilm	1.2	
Espectroscopia	0.6	

Tabla 2.2.- Densidades usadas para la comparación de rapidez en materiales fotográficos.

Ningún tipo de emulsión es enteramente consistente con sus características especificadas y la asignación de una rapidez no puede basarse en una sola muestra, cuando menos deben usarse 12 muestras tomadas de lotes distintos, en por lo menos 4 ocasiones diferentes.

2.2.4.- Factores que afectan la rapidez fotográfica.-

El sistema de medición de la rapidez fotográfica y su aplicación específica no pueden ser separados, por lo que no debe intentarse aplicar un valor de rapidez a una aplicación diferente de aquella para la que fue determinado. La rapidez fotográfica es afectada por varios factores asociados con la manufactura y uso del producto.

- Características de la emulsión.- La sensibilidad y contraste de una emulsión están determinadas por su composición y método de manufactura. Aunque rapidez y contraste pueden ser alterados en forma limitada por el revelado, las posibilidades están determinadas por el tipo de emulsión.

- **Revelado.**- El tipo de revelador y grado de revelado tienen el siguiente más importante efecto en la rapidez de la emulsión. A temperatura dada, el uso de reveladores más activos o tiempos mayores de revelado incrementan rapidez y contraste de una emulsión. Para un tiempo de revelado determinado, una mayor temperatura del revelador y una agitación más frecuente durante el revelado también aumentan la rapidez, el contraste y generalmente, el nivel de neblina; este último es generalmente el precio que se paga por una mayor rapidez y contraste.
- **Naturaleza espectral de la iluminación.**- La curva característica para una emulsión dada puede variar con las características espectrales de la radiación de la exposición, de manera que la rapidez de cada curva puede ser diferente. Generalmente, los valores de la rapidez son proporcionados por el fabricante junto con el tipo de fuente luminosa o radiación para la que el material fue fabricado, como "luz de tungsteno" o "exposición en luz del día". En la práctica la fuente luminosa usada en la exposición es conocida y la tarea del investigador consiste en seleccionar un material fotográfico con alta sensibilidad en la región espectral de su interés.
- **Duración de la exposición.**- Algunas emulsiones fotográficas muestran una reducción en su sensibilidad cuando son expuestas ya sea a una baja iluminación durante mucho tiempo o a una intensa iluminación durante corto tiempo. En otras palabras, la tasa de exposición afecta la respuesta. Este cambio en la sensibilidad se conoce como "efecto de reciprocidad", este tópico se trata con más detalle en la sección "Efectos de Imagen" más adelante en este capítulo. La mayoría de los sistemas de medición de rapidez asumen algún tiempo para la exposición y una considerable desviación de este tiempo puede invalidar el valor de la rapidez especificado.
- **Temperatura y humedad.**- Las diferencias en la temperatura y humedad que prevalecen al momento de exponer la emulsión pueden causar variaciones en la respuesta fotográfica. Estas variaciones en la sensibilidad pueden ser ignoradas en aplicaciones poco críticas,

pero deben ser tomadas en cuenta para propósitos más delicados calibrando la exposición en condiciones idénticas de temperatura y humedad relativa a aquellas en que se hará la exposición final.

- Envejecimiento.- Desde el momento que termina su fabricación, las emulsiones fotográficas comienzan a variar su rapidez. La tasa de cambio es rápida durante las primeras horas y decrece posteriormente. La rapidez especificada por el proveedor considera el cambio de rapidez que más probablemente ocurre durante el tiempo entre la fabricación del material y su adquisición por el usuario final. - Los materiales fotográficos almacenados por un período extendido de tiempo antes de ser usados, presentarán un cambio de rapidez a una magnitud dependiente de los materiales en sí y de las condiciones de almacenamiento. Una manera efectiva de retardar las variaciones en la rapidez es almacenar los materiales a bajas temperaturas.

2.3.- Densitometría

La medición de la densidad se hace haciendo pasar un haz de luz a través de la muestra y detectando que tanta luz fue absorbida por la plata metálica en el proceso, pero parte de la luz incidente es disipada por los granos de plata y la densidad medida depende de qué tanta de esta luz difusa disipada es registrada por el sistema detector. Los dos tipos principales de medición de densidad son: Difusa y especular y se describen a continuación:

- Densidad difusa vs. especular.- Las densidades especulares son - - siempre algo mayores que las densidades difusas y la magnitud de la diferencia entre las dos varía de manera considerable. Dos factores con tribuyen a esta diferencia:

- (1).- El arreglo geométrico del sistema óptico en el densitómetro - con el que se hacen las mediciones, y
- (2).- La magnitud con que la muestra dispersa la luz.

Densidad difusa es aquella medida con un ángulo sólido detector de 180 grados (véase Figura 2.6).

Densidad especular es aquella medida con un ángulo sólido detector tendiente a 0 grados, en la práctica, las densidades especulares se miden con un ángulo sólido detector de 5 a 10 grados.

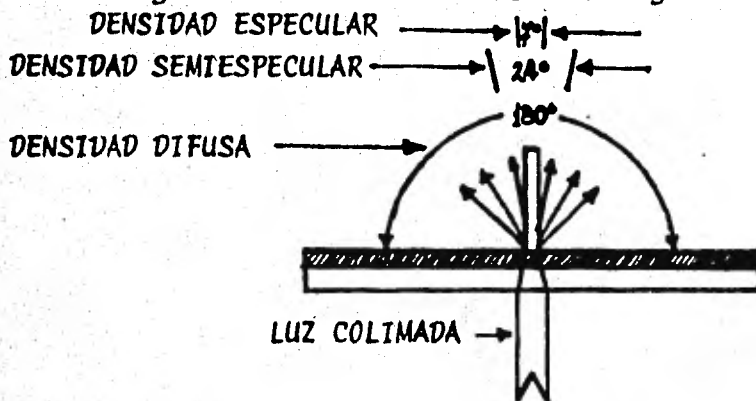


Figura 2.6.- Densidad difusa vs. Especular

Un factor principal en la dispersión de la luz por la densidad de la plata es el tamaño del grano. Para una densidad dada, en donde el grano es más bien grueso, la diferencia entre densidad especular y difusa será mayor que en una comparación similar, donde el grano es más fino.

- El Densitómetro

Existen dos tipos básicos de equipo para medir densidades fotográficas, densitómetros de comparación y densitómetros de medición directa. En la práctica, los densitómetros pueden ser clasificados como visual o fotoeléctrico. Cualquiera de estos aparatos mide la densidad de una pequeña área de emulsión a la vez y puede medir desde unos milímetros cuadrados hasta de unos cuantos micrones cuadrados.

En un densitómetro visual, la medición se hace con ayuda del ojo humano, ajustando una luminosidad de referencia de una escala de densidades hasta equilibrarla con la luminosidad de la muestra. En un densitómetro electrónico, la medida es hecha por una fotocelda que se ajusta para medir el cero cuando no hay densidad en la muestra. Cuando se coloca una muestra de densidad, el densitómetro indica qué tanto se disminuyó la intensidad de la luz con la colocación de dicha muestra en su camino.

Los diagramas de las Figuras 2.7.1 y 2.7.2 muestran el funcionamiento esquemático de densitómetros de transmitividad y de reflectividad de los tipos visual y electrónico. No todos los densitómetros operan exactamente en las formas esquematizadas, pero los principios son los mismos. Las mediciones se obtienen en unidades de densidad, por lo que no hay necesidad de calcular logaritmos.

2.4.- Sensibilidad Espectral

La sensibilidad espectral de un material describe su respuesta fotográfica a la radiación como función de la longitud de onda. Los haluros de plata son sensibles a radiaciones de alta energía como rayos-X y rayos gamma, y son sensibles también a las longitudes de onda del ultravioleta y del azul. Se usan frecuentemente tintes sensibilizadores para extender la sensibilidad de una emulsión en las partes verde, roja y cercana infrarroja del espectro. En emulsiones fotográficas convencionales, la sensibilidad se limita hasta las longitudes de onda de 2500 Å debido a la fuerte absorción ultravioleta por las gelatinas usadas en las emulsiones.

- Tipos de materiales

- Materiales sensibles al azul.- Estas emulsiones son afectadas por rayos-X, rayos gamma y radiación ultravioleta, violeta y azul; son también sensibles a la región verde del espectro visible.

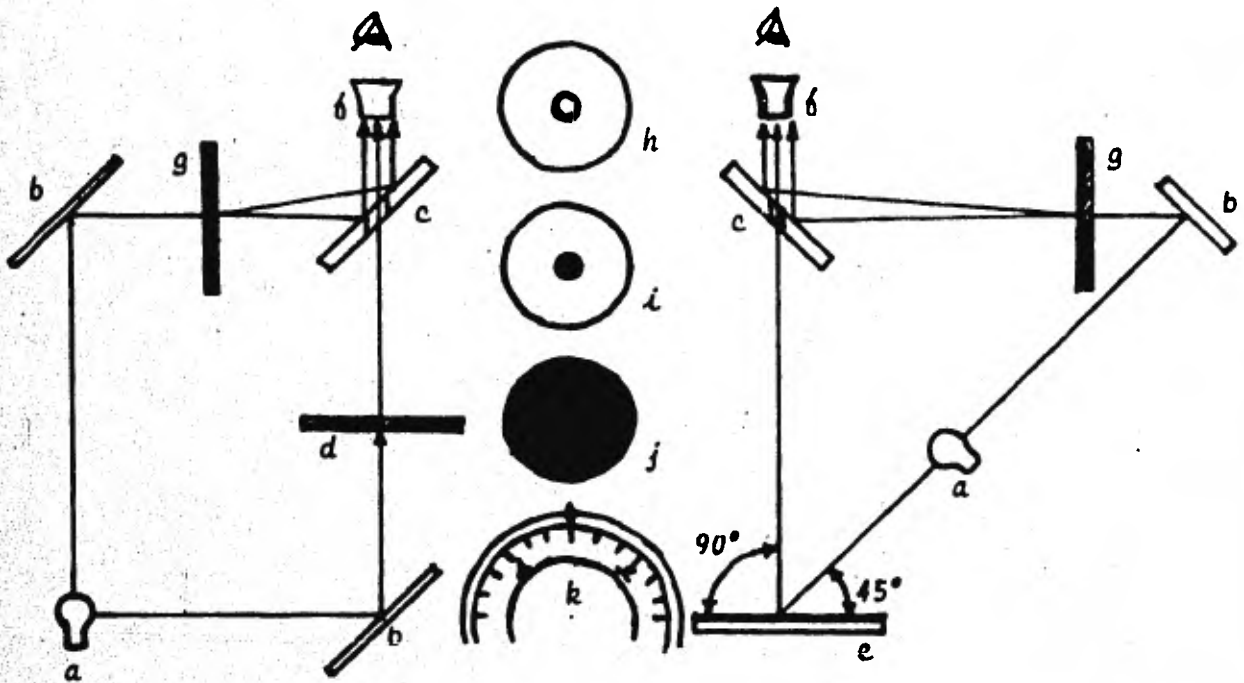


Figura 2.7.1.- Densitómetros visuales

La luz de una fuente (a) es reflejada por espejos (b) hacia un espejo combinatorio (c). Un orificio en el espejo combinatorio permite que la iluminación reducida por la densidad de un negativo (d) o impresión (e), pase por una lente (f), junto con la iluminación de referencia, que puede variarse ajustando una escala óptica graduada (g). Con la escala en la posición cero y sin densidad en la posición de la muestra, el orificio central y su alrededor presentan la misma brillantez máxima (h). Colocando la densidad a medir en la posición de la muestra, el orificio central se oscurece (i), porque la densidad de la muestra reduce la luz que pasa por éste; para hacer la lectura, la escala (g) se ajusta hasta que el anillo exterior se reduce a la misma brillantez que el orificio central (j). La escala (k) está marcada con unidades de densidad para lectura directa. Es claro que en estos aparatos, la lectura depende de la apreciación del operador.

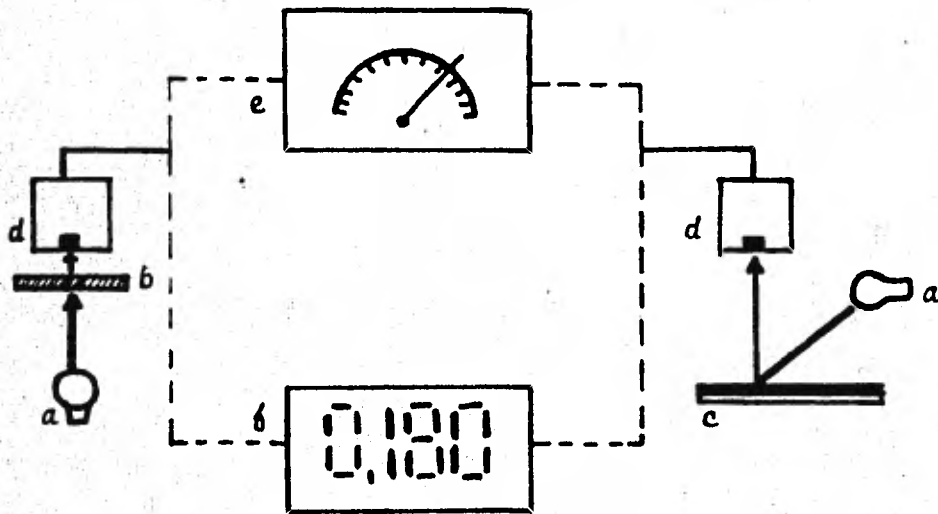


Figura 2.7.2.- Densitómetros Electrónicos

La luz de una fuente (a) es reducida por la densidad de un negativo (b) o impresión (c) y llega a una celda fotoeléctrica (d). La señal generada por esta celda puede activar el galvanómetro de una escala de aguja (e) para señalar la lectura en una escala marcada en unidades de densidad, o dar una lectura digital directa (f).

- **Materiales Pancromáticos.**- Las placas y películas pancromáticas son sensibles al rojo, verde y azul, así como a longitudes de onda más cortas. En películas diseñadas para fotografiar gente y paisajes, la sensibilidad al rojo se extiende solamente hasta los 6500 \AA de longitud de onda, pero algunos productos orientados a aplicaciones técnicas, son sensibles a todas las longitudes de onda del rojo, hasta de 7200 \AA en algunos casos.
- **Materiales sensibles al infrarrojo.**- Estos productos presentan sensibilidad extendida más allá de las longitudes de onda visibles hasta la región infrarroja del espectro. Algunas placas y películas tienen sensibilidad extendida hasta longitudes de onda de 9000 y 12000 \AA .

3.- Propiedades estructurales de la imagen.

3.1.- Granularidad

Aunque las densidades de una imagen fotográfica puedan parecer homogéneas al ojo humano, un examen microscópico revela una colección de partículas discretas de plata metálica. Estas partículas, llamadas granos, forman un patrón granular que se hace visible en ampliificaciones.

La magnitud de la granularidad de una muestra se mide recorriendo el sensor de un microdensitómetro con una apertura circular del orden de 10 a 50 micrones. Las características de la granularidad pueden ser comparadas mediante el examen de las gráficas producidas por el microdensitómetro al aplicarse en áreas uniformes de densidad. Algunas muestras de tales gráficas se esquematizan en la figura 2.8.

Los valores de granularidad difusa rms, se dan como 1000 veces la desviación standard de la densidad producida por la estructura granular del material medido, esto arroja como resultado valores enteros típicamente entre 5 y 50.

GRANULARIDAD	GRAFICA GENERADA	ORDENES DEL VALOR rms DIFUSO
Muy gruesa		45 a 50
Gruesa		33 a 42
Moderada gruesa		26 a 30
Media		21 a 24
Fina		16 a 20
Muy fina		8 a 15
Micro-fina		menos de 8

Figura 2.8.- Gráficas de microdensitómetro comparando granularidad de diversos materiales.

3.2.- Poder de Resolución

El poder de resolución hace referencia de la habilidad de un material fotográfico de registrar imágenes distintas de objetos pequeños y muy cercanos entre sí; se define de manera general como la capacidad de un material fotográfico de conservar en la imagen revelada, la identidad de barras paralelas cuando su separación relativa es pequeña.

En Tecnología fotográfica, el poder de resolución se mide en líneas/mm, o análogamente, pares/mm; por un par se entienden una línea y su espacio adjunto. La tabla 2.3 muestra una clasificación del poder de resolución de materiales como función del número de líneas por milímetro - que pueden identificarse; en el caso de los materiales de alta resolución, con la ayuda de un microscopio.

**CLASIFICACION DEL
PODER DE RESOLUCION** **LINEAS/MM**

Bajo	50 o menos
Medio	63 a 80
Alto	100 a 125
Muy alto	160 a 200
Extremadamente alto	Mayor a 250

Tabla 2.3 Clasificación, según el poder de resolución

3.2.1.- Factores que afectan el Poder de Resolución.- El poder de resolución de un material fotográfico depende de varios factores. En general, un mayor poder de resolución corresponde a un mayor contraste del material y a una mayor finura del grano. Decrece con altas y bajas exposiciones, alcanzando un valor óptimo para cierta exposición intermedia. La resolución es generalmente mayor para radiación ultravioleta y azul, menor para luz verde e intermedia para luz azul y - -blanca. También las condiciones del revelado pueden ejercer un efecto medible.

Además de la capacidad de resolución del material fotográfico, el sistema óptico usado influye también en la resolución de la imagen final mediante la fórmula:

$$\frac{1}{(R_s)^2} = \frac{1}{(R_m)^2} + \frac{1}{(R_l)^2}$$

donde:

R_s = Resolución del sistema

R_m = Resolución del Material Fotográfico

R_l = Resolución de la lente empleada

Lord Rayleigh fue el primero en establecer la resolución de una lente sobre la base del patrón de difracción. Concluyó que un sistema óptico puede resolver dos puntos igualmente brillantes cuando el máximo central de una imagen coincide con el primer mínimo de la otra. Este límite se conoce como el criterio Rayleigh de resolución.

3.3.- MTF (Función de Transferencia de Modulación) y su Uso.

El concepto de transferencia de modulación ofrece una manera de comparar la imagen resultante de fotografiar un cierto sujeto y presenta una gran analogía con las curvas de respuesta a las diferentes frecuencias usadas en equipos reproductores de sonido.

Para exponer la teoría básica de la MTF, introducimos el término Modulación, que viene de la evaluación de formas ondulatorias que varían con el tiempo. El valor de la modulación expresa cuantitativamente la variación máxima de la onda y la relaciona con el valor medio. Con referencia a la figura 2.4, la modulación de la imagen en este patrón de variación sinusoidal de la intensidad luminosa se define como:

$$\text{MODULACION} = \frac{I_{\text{MAX}} - I_{\text{MIN}}}{I_{\text{MAX}} + I_{\text{MIN}}}$$

esta misma definición se aplica también a una imagen de onda cuadrada.

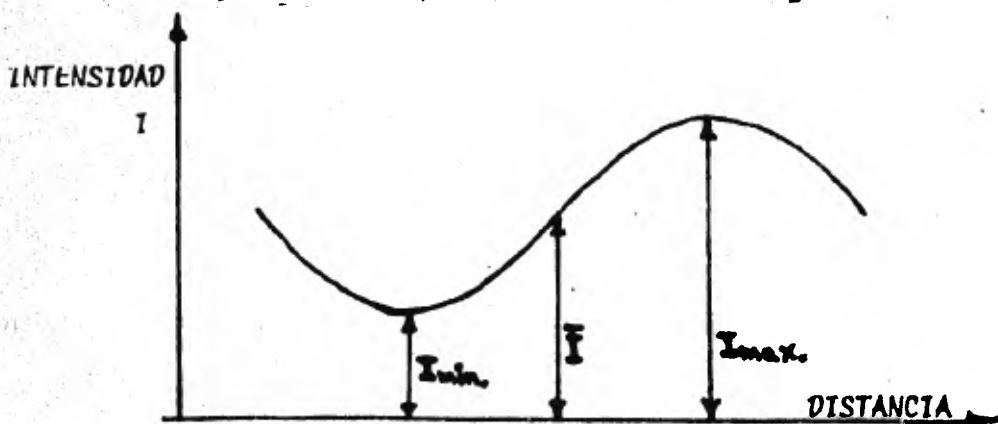


Figura 2.9.- Intensidad de la Variación Sinusoidal.

El concepto de Transferencia de Modulación presenta una idea del desempeño de una emulsión para un rango de valores de frecuencia espacial. El poder de resolución únicamente nos dice la frecuencia crítica para la que frecuencias mayores no pueden ser detectadas. La transferencia de modulación de un sistema puede ser definido como:

$$\text{Transferencia de Modulación} = \frac{\text{Modulación de Salida}}{\text{Modulación de Entrada}}$$

Es muy usual relacionar esta fracción con la Transferencia de modulación a frecuencias muy bajas (casi cero). Lo que se tiene entonces, son valores que varían entre la unidad para muy bajas frecuencias y cero a alguna frecuencia más elevada donde ya no hay resolución. Esta frecuencia de corte es similar en concepto al límite de resolución, pero es determinada instrumentalmente. La variación del factor de Transferencia de modulación con la frecuencia de una señal sinusoidal se muestra en la Figura 2.10 y se conoce como Función de Transferencia de modulación, abreviado MTF (del inglés Modulation Transfer Function).

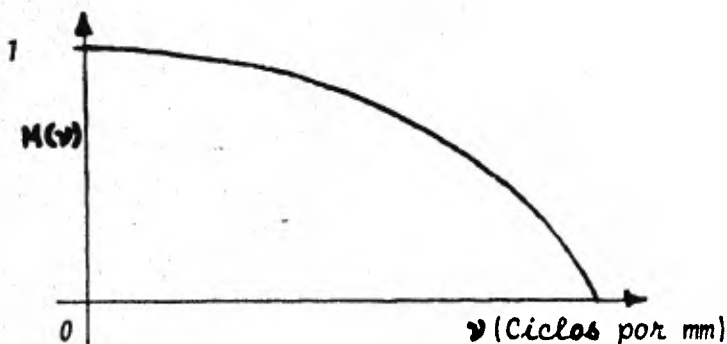


Figura 2.10.- Función de Transferencia de Modulación $M(\nu)$.

La Figura 2.11 muestra un ejemplo típico de la pérdida de modulación como función de la frecuencia espacial.

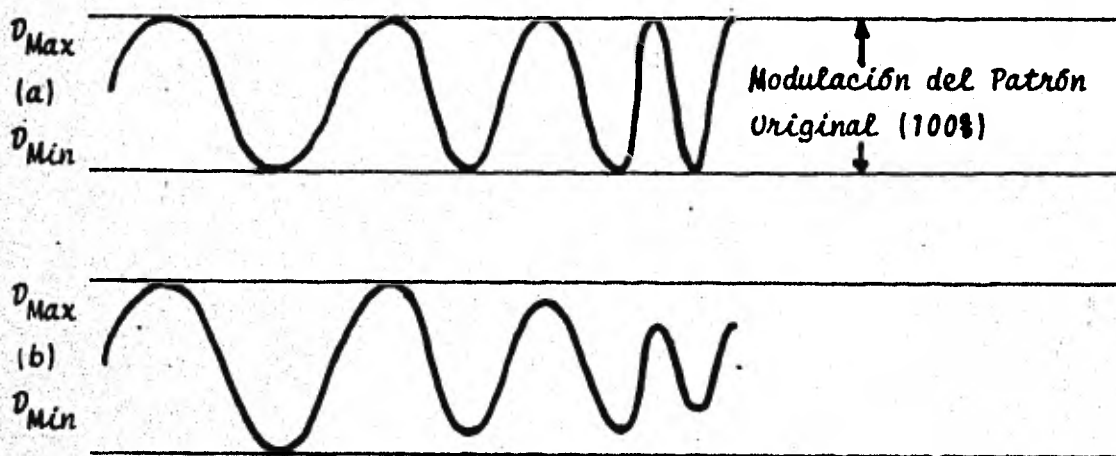


Figura 2.11.- Reducción de contraste en detalles finos.

(a) Patrón Original. (b) Imagen reproducida, el patrón de baja frecuencia conserva el 100% de la modulación del original, pero el patrón de mayores frecuencias reduce la modulación del original.

Mientras que la dispersión en la emulsión tenderá a producir un valor de MTF menor al 100% a todas las frecuencias espaciales, algunos efectos de procesado pueden trabajar en el sentido opuesto, de manera que alguna combinación de emulsión y revelador puede arrojar un valor MTF mayor al 100% para frecuencias bajas.

Las curvas MTF pueden ser usadas en la selección de materiales fotográficos y predecir su desempeño en un sistema óptico completo. Si se necesita registrar información a una cierta frecuencia espacial conocida, se aplicará el uso del material que exhibe la mayor respuesta en el rango de frecuencias requerido. En el ejemplo de la Figura 2.12, el producto A tiene una mayor respuesta que el producto B a 20 ciclos/mm, pero lo contrario se verifica para 100 ciclos/mm.

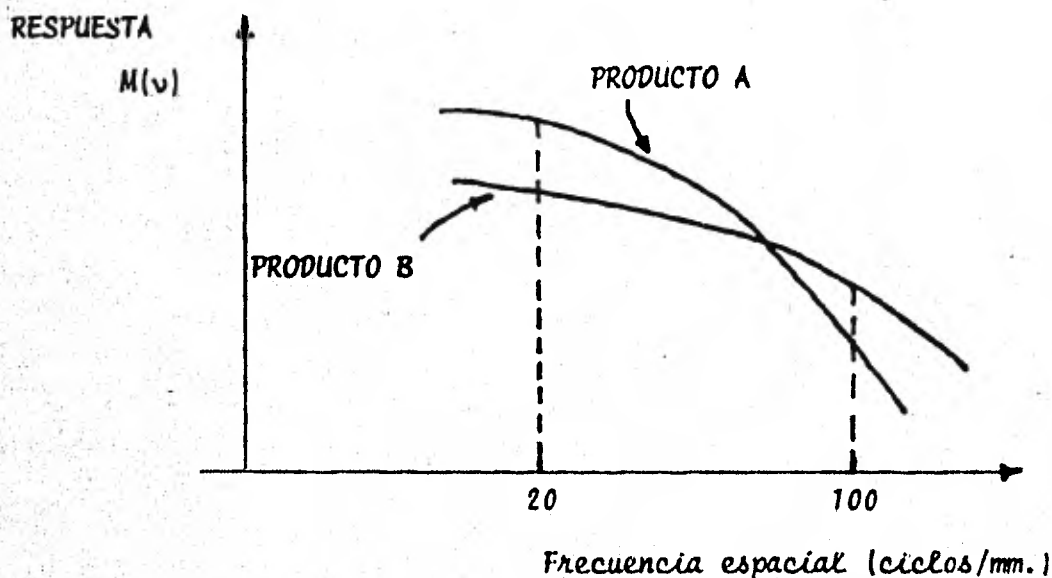


Figura 2.13.- Curvas de Transferencia de Modulación de dos Materiales fotográficos diferentes.

5.4.- Definición (Sharpness)

La impresión subjetiva general de la claridad de diferentes detalles en una imagen fotográfica se llama definición. Una gran parte de la impresión visual de detalle es dada por la percepción de los bordes o filos de los elementos de la imagen. Varios factores medibles con tribuyen a la definición, los más importantes son: agudeza, resolución y contraste, pero lo afilado de los bordes de los elementos de la imagen en sí, es una impresión psicovisual que no puede ser medida directamente.

Aunque generalmente se asume que el poder de resolución es una indicación de la habilidad del material para producir imágenes bien defi nidas, no es necesariamente cierta la proposición de que un conjunto de fotografías se ordenen igual según su definición que según su re solución. Mediante el uso de ciertas combinaciones de lentes y materi ales fotográficos, es posible hacer dos fotografías en las que una tenga mayor poder de resolución, pero menor definición que la otra.

Aún más; algunos reveladores reducen la definición sin afectar el poder de resolución.

El concepto de agudeza fue introducido para medir la forma de la variación de densidad en los bordes de los elementos de una imagen fotográfica.

Con referencia a la figura 2.13 (a), un negativo ideal debe mostrar un cambio abrupto entre la baja densidad de un área oscura y la alta densidad de un área brillante adyacente. La realidad es como se ve en la figura 2.13 (b), la medida de la agudeza se hace escogiendo dos puntos A y B, limitantes en la curva, representativos de las dos densidades adyacentes y calculando el gradiente cuadrado medio $\overline{G_d^2}$ entre ellos. Expresado matemáticamente por:

$$\overline{G_d^2} = \frac{1}{N} \sum \left(\frac{\Delta D}{\Delta d} \right)^2$$

con:

ΔD = incremento de densidad en Δd

Δd = desplazamiento pequeño

N = Número suficientemente grande para cubrir la distancia total entre A y B con N incrementos Δd .

La agudeza finalmente está dada por la fracción:

$$\frac{\overline{G_d^2}}{D_B - D_A}$$

donde D_B y D_A son las densidades medidas en los puntos A y B, respectivamente.

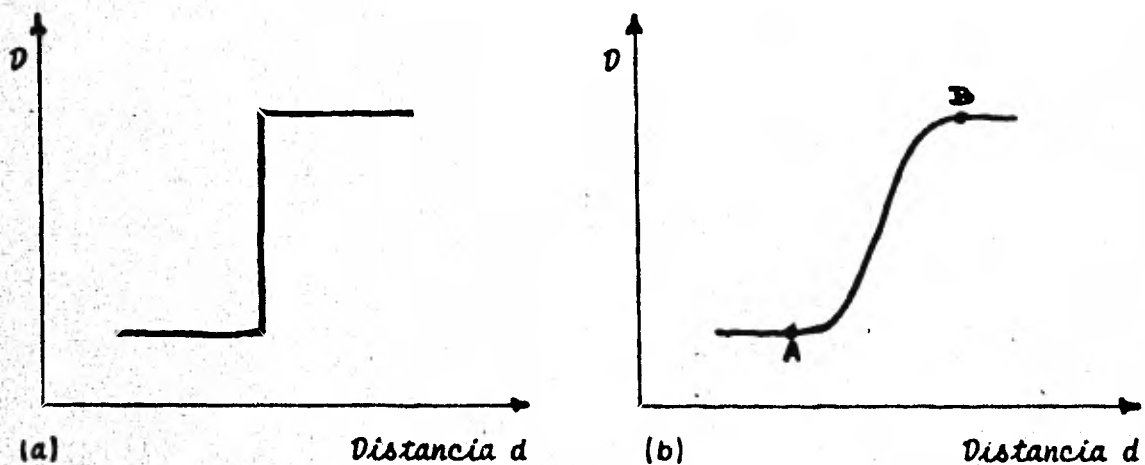


Figura 2.13.- Borde ideal (a) y real (b).

3.4.1.- Turbiedad y Contraste

El poder de resolución y la definición de un material fotográfico están condicionados principalmente por dos factores, la turbiedad y el contraste inherente de la emulsión.

La turbiedad depende de dos factores: capacidad de dispersión de luz y capacidad de absorción de luz de la emulsión. Si la imagen de un punto o de una línea delgada se expone varias veces sobre un material fotográfico, las imágenes resultantes no tendrán el verdadero tamaño geométrico. El tamaño de la imagen dependerá también del nivel de la exposición. La tasa de extensión de una imagen fotográfica nos da una medida directa de la turbiedad.

Los efectos de la turbiedad de una emulsión sobre las imágenes de un punto y una línea, se ilustran en la figura 2.14.

Dado que el diámetro de la imagen de un punto particular se relaciona con la exposición, puede ser usado para la fotometría de magnitudes estelares.

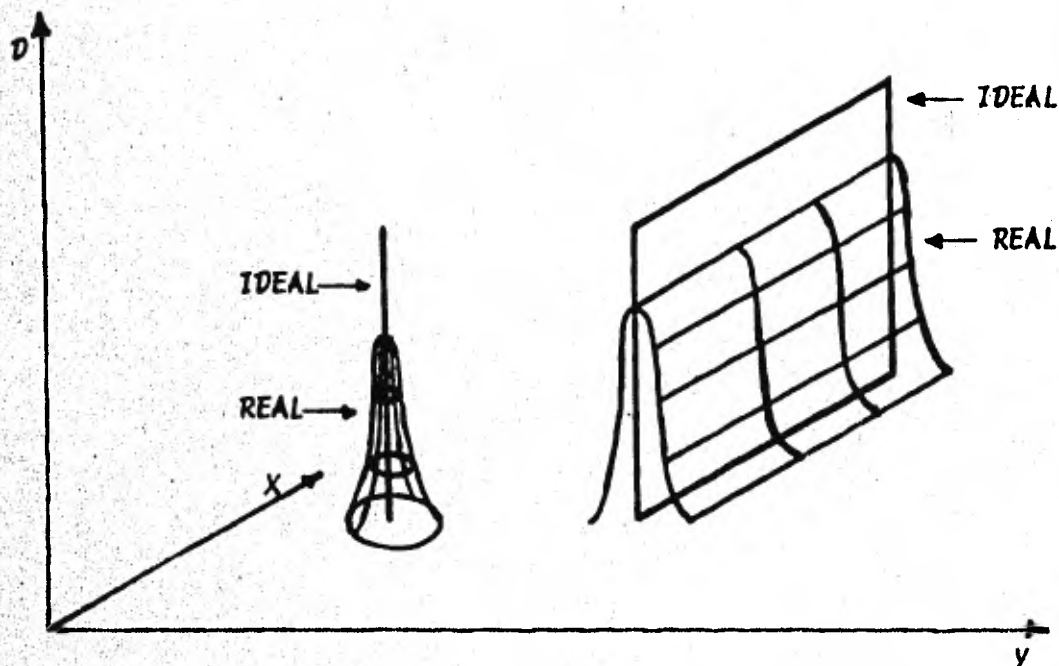


Figura 2.14.- Efectos de la turbiedad de la emulsión sobre las imágenes de un punto y una línea.

El contraste inherente de una emulsión depende de características tales como el rango de tamaños del grano y, como la turbiedad, se fija por el método de manufactura. Ciertamente es que el contraste de una imagen particular puede ser alterado por las condiciones de revelado, pero esto tiene una influencia mínima sobre el poder de resolución.

4.- Efectos de la Imagen

La imagen final registrada en una placa o película fotográfica es el producto de muchos eventos complejos; aunque describir completamente la formación de la imagen latente no es el propósito de este trabajo, es deseable identificar algunas de las variables que pueden afectar la exposición y el revelado de la imagen latente. Los efectos de exposición y los de revelado están inseparablemente ligados porque la invisible imagen latente no puede ser evaluada hasta que los haluros de plata expuestos sean reducidos a plata metálica en el revelado.

4.1.- Efectos de la Exposición.- Cuando una emulsión fotográfica es expuesta a radiación actínica, una gran variedad de resultados es posible, dependiendo de las características de la radiación y la manera como actúa sobre las sales de plata. También es posible obtener la misma respuesta fotográfica, en términos de la densidad óptica producida, de una variedad de condiciones de exposición. Debido a lo anterior y a otras posibles fuentes de variabilidad en el proceso fotográfico, los investigadores críticos, tales como los astrónomos y los estudiosos de la espectrografía, deben calibrar con gran precisión sus equipos y materiales fotográficos.

4.1.1.- Efectos de Reciprocidad.- En 1862, Bunsen y Roscoe propusieron una ley general para las reacciones fotoquímicas, la cual sostiene que el producto de una reacción fotoquímica depende de la energía total involucrada. En fotografía, esto quiere decir que la densidad obtenida depende idealmente de la energía total E , la que, suponiendo constante la intensidad de la radiación (sección 2), es producto de esta por el tiempo en segundos que dura la exposición.

En realidad, la mayoría de los materiales fotográficos presentan una pérdida de rapidez (menor densidad) cuando se exponen a niveles de iluminación muy altos o muy bajos, aunque la energía total de la exposición permanezca constante mediante el ajuste del tiempo de exposición. Esta pérdida de rapidez es conocida como "Efecto de Reciprocidad" o "Falla de la Ley de Reciprocidad". Como muchas aplicaciones fotográficas científicas se hacen a niveles muy altos o muy bajos de iluminación, los efectos de reciprocidad pueden ser significativos y son un factor importante en la elección de materiales, especialmente en fotografía fotométrica.

- *Veterminación de la Reciprocidad.*- El método más usual para el estudio de los efectos de reciprocidad consiste en medir las cantidades de exposición necesaria para producir una densidad constante con diferentes niveles de iluminación. En la figura 2.15 se muestra una curva típica que ilustra los efectos de reciprocidad, las líneas inclinadas representan tiempos constantes, las líneas verticales representan intensidad constante; una emulsión ideal que no se desvía de la Ley de Reciprocidad, se representaría como una línea horizontal.

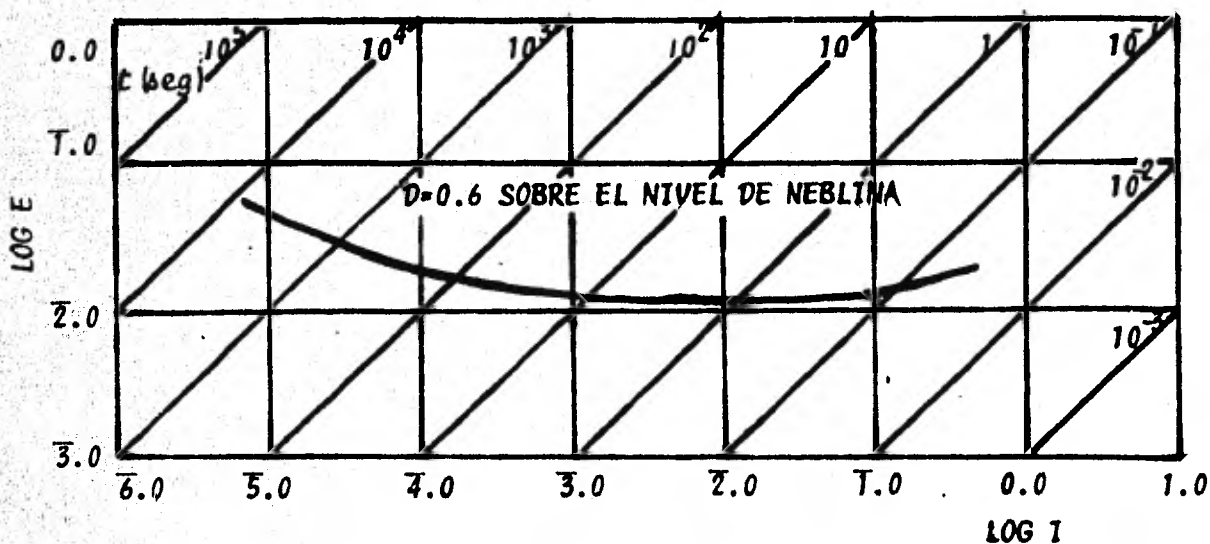


Figura 2.15.- Curva de Reciprocidad

Nota: El término *Iluminación* se usa para enunciar el flujo luminoso por unidad de área incidente sobre la emulsión, los términos *Irradiación* y *Flujo radiante* son los equivalentes radiométricos de *iluminación* y *flujo luminoso*, respectivamente. Para calcular el flujo luminoso, es necesario saber la intensidad de la fuente luminosa, así como la distancia fuente-emulsión y las características de transmitividad de los materiales intermedios.

El término *Intensidad* se refiere correctamente al flujo por ángulo sólido unitario emitido por una fuente, pero por el uso prolongado, se acostumbra usarlo para describir, en sentido cualitativo, la cantidad de luz o radiación que alcanza a la emulsión. La luz estelar se describe, por ejemplo, como "*Iluminación de Baja Intensidad*".

- **Exponente de Schwarzschild.**- Schwarzschild propuso una corrección en la relación de la exposición para iluminación constante $E = IT$ introduciendo un exponente P al tiempo de la siguiente manera:

$$E = IT^P, \text{ donde } P \text{ sería característico de cada emulsión}$$

Si la ley de reciprocidad fuese válida, P sería igual a 1. El valor de P determina la pendiente de la curva de reciprocidad (ver figura 2.15), pero dicha pendiente varía continuamente, especialmente hacia la parte izquierda de la curva. P puede considerarse constante sólo para pequeños intervalos.

4.1.2.- **Efecto de Intermitencia.**- Una exposición continua puede no producir la misma densidad que una exposición en donde la misma cantidad de energía es proporcionada en varias fracciones separadas en el tiempo. Las exposiciones intermitentes son usadas con frecuencia

en espectrofotometría de absorción, por lo que en esta disciplina el efecto de intermitencia es de importancia considerable. Se ha demostrado, sin embargo, que una exposición continua y una intermitente, de la misma intensidad promedio y del mismo tiempo de exposición, ofrecen los mismos resultados cuando la frecuencia de interrupción sobrepasa un cierto nivel crítico.

4.1.3.- Efecto Clayden.- Cuando una emulsión fotográfica recibe dos exposiciones separadas, el efecto no es el de una exposición cuyo valor es la suma de las dos aplicadas. La primera exposición sensibiliza a la emulsión proporcionalmente a su magnitud, de manera que la segunda exposición encuentra a la emulsión con una rapidez diferente a la que encuentra la primera. Por causa de este efecto llamado Clayden, puede obtenerse una imagen revertida al revelar; esto es, una imagen positiva en lugar de una negativa.

4.1.4.- Solarización.- En la discusión de la curva característica (sección 2.1.1), se apuntó que en la región del hombro, al incrementar la exposición, la curva se vuelve horizontal y no hay más incremento en la densidad. Si la exposición se lleva a valores mucho más grandes que aquel para el que primero se obtuvo D_{Max} , algunos materiales presentan un decremento en la densidad.

Este efecto es llamado Solarización y se manifiesta como un revertido parcial de la imagen.

4.1.5.- Efecto Herschel.- Cuando una emulsión no sensible al rojo o al infrarrojo es expuesta en luz azul o blanca, se formará una imagen latente de la manera normal. En algunos casos, al exponer la emulsión a luz roja o infrarroja antes del revelado, se perderá parte del efecto de la exposición original. De manera que la radiación de baja frecuencia puede destruir información generada por energía de altas frecuencias. Esto es conocido como Efecto Herschel.

Aclaremos que la energía requerida para destruir una imagen mediante el efecto Herschel, es varios órdenes de magnitud mayor que aquella requerida para formar la imagen latente original.

4.1.6.- Efecto Sabattier.- El efecto Sabattier se obtiene interrupiendo el proceso de revelado para exponer el material a una fuente de luz. El resultado consiste en una imagen revertida parcial o completamente, según las intensidades relativas de las dos exposiciones.

4.2.- Efectos del Procesado

Durante el revelado, pueden manifestarse efectos tales que la relación densidad-exposición, se altere considerablemente, generalmente en los pequeños detalles más que en áreas uniformes extendidas. Estos efectos se deben a las técnicas de revelado empleadas y al estado de agotamiento de las soluciones químicas.

4.2.1.- Efectos de borde.- En la línea que separa un área oscura de una iluminada, el procesado provoca una densidad intermedia a las de las áreas adyacentes. Esto se debe a que en el área poco expuesta, el revelador está menos agotado y fluye a diluirse en la dirección de la zona más expuesta, dado que ahí el revelador se agota más rápidamente. Esto provoca que la densidad de una imagen sea menor en la parte interna que en el borde mismo. En la figura 2.16 se ilustra una curva típica del patrón de densidades en la vecindad de un borde. Este es conocido como el Efecto de borde, y la depresión de densidad fuera de el área más densa se conoce como Efecto Fringe.

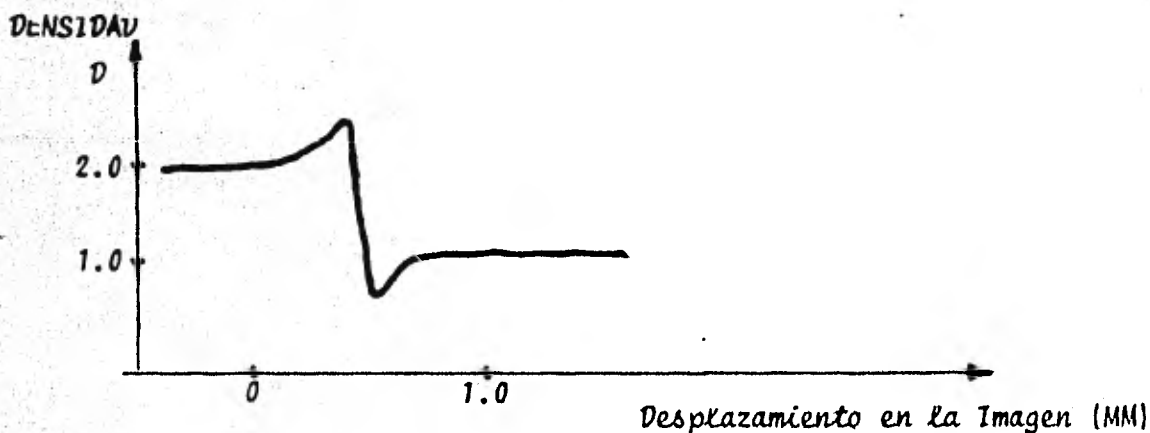


Figura 2.16.- Traza Densitométrica que muestra el efecto de borde en la confluencia de dos densidades distintas.

4.2.2.- Efecto Eberhard.- Cuando dos pequeñas áreas de tamaño diferente son expuestas y reveladas en la misma manera, la densidad del área más pequeña, en general, será mayor que la del área más grande, como consecuencia del efecto de borde. Este fenómeno se conoce como el Efecto Eberhard. En la figura 2.17 se muestra gráficamente.

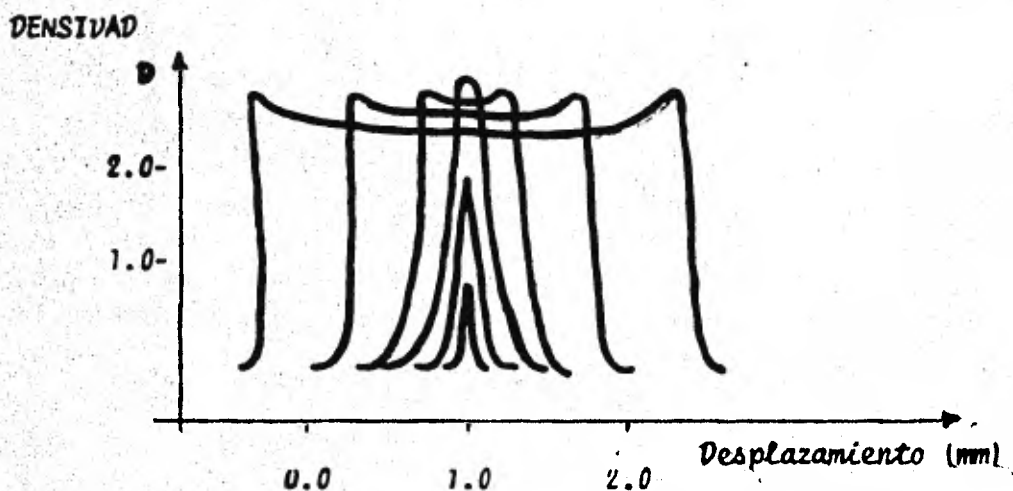


Figura 2.17 (A).- Trazas de Microdensitómetro que muestran el efecto Eberhard en la densidad de imágenes de ranuras muy delgadas recorridas a lo transversal.

DENSIDAD EN EL
CENTRO DE LA
IMAGEN

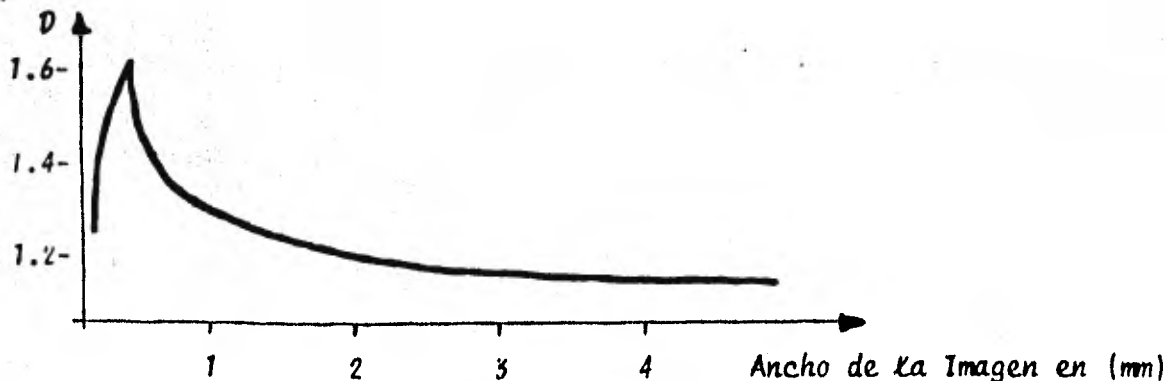


Figura 2.17 (B).- Relación entre Densidad y Ancho de las Imágenes de las ranuras.

Una de las consecuencias del Efecto Eberhard es que la imagen de líneas finas en un fondo claro puede presentar una curva característica diferente que otras áreas ordinarias. La microsensitometría mostrará un mayor contraste que la macrosensitometría. Por lo anterior, es necesario calibrar cuidadosamente el equipo cuando se aplique fotografía fotométrica en líneas finas de dimensión variable.

4.2.3.- Efecto Kostinsky.- Cuando dos pequeñas imágenes tales como las formadas por estrellas dobles o líneas dobles de emisión se encuentran muy cercanas, una forma de inhibición del revelado conocida como el Efecto Kostinsky, puede presentarse. En la región entre las dos imágenes, el revelador se agota y los residuos de la reacción se depositan en mayor grado que en los otros puntos alrededor de la imagen. Como consecuencia, el revelado se inhibe donde las imágenes casi se tocan, pero procede normalmente en las otras regiones, el resultado de esta inhibición asimétrica es una exageración en la separación de las dos imágenes.

5.- Detección Fotográfica de Señales Débiles

Existe un pequeño número de aplicaciones científicas en las que se requieren materiales fotográficos cuyas características hacen impráctica su inclusión en los procesos de manufactura. Como consecuencia de esto, los investigadores, especialmente los astrónomos, han buscado maneras de alterar las propiedades de materiales existentes, con el propósito de mejorar sus capacidades de registro de información para hacer un mejor trabajo. La característica fotográfica que más atención ha recibido en este sentido es la sensibilidad de la emulsión o rapidez fotográfica.

En los primeros años de la fotografía, el número de emulsiones disponibles era limitado, así como su capacidad de registrar exposiciones muy rápidas o imágenes a bajos niveles de iluminación.

Se experimentó entonces con diferentes fórmulas de reveladores y otros métodos que permitieran mayor rapidez, aún a expensas de la calidad de la imagen.

Hoy día, se dispone de un gran número de productos fotográficos para las aplicaciones científicas. Más importante que esto, es el hecho de que se tiene una mejor conciencia del papel que juega la fotografía en la detección de señales muy débiles. Se sabe que la rapidez fotográfica no es un criterio único en la elección de un material fotográfico, ni siquiera el más importante en la mayoría de los casos; pero puede ser un criterio muy importante desde la perspectiva apropiada y este capítulo concluye con un repaso de los métodos para incrementar la rapidez fotográfica.

5.1.- *Formación de la Imagen Latente.*- Como los métodos actuales para incrementar la rapidez efectiva de una emulsión se describen mejor en términos del proceso de formación de la imagen latente, los pasos básicos del proceso se enuncian de manera muy general a continuación.

El primer paso en la formación de una imagen latente es la absorción de un fotón de energía radiante. El efecto de esta absorción es el de elevar un electrón de la capa de valencia del microcristal a la capa de conducción. Asumiendo que el grano de haluro de plata era neutral antes de la absorción, tenemos un grano cargado positivamente después de ésta. Tanto el electrón como la carga positiva son entes dinámicos - que se mueven dentro del cristal.

La probabilidad de que ocurra una recombinación de estas cargas con la consiguiente liberación de energía es extremadamente alta y su efecto es el de no dejar ningún efecto fotográfico, como si el fotón original nunca hubiese sido absorbido. Esto se evita introduciendo rutas alternativas para el uso de dichas cargas. El electrón puede ser atrapado por impurezas químicas o defectos estructurales en la superficie de un cristal o dentro de la red cristalina. Una vez que el electrón ha sido ubicado de manera fija por una de estas posibles causas, un ion

movible intersticial de plata se combinará con el electrón neutralizándolo con la formación consecuente de un átomo de plata cuasi-estable. Este átomo de plata constituye a su vez un área de actividad química y electrones adicionales son atrapados por este centro de sensibilidad. Movimientos subsecuentes de iones de plata forman un conglomerado de átomos de creciente tamaño y estabilidad. El número mínimo de átomos de plata que se requiere para formar un conglomerado de plata estable y revelable en los granos más sensibles de una emulsión rápida es estimado en tres a seis átomos.

La movilidad de la carga positiva debe ser considerada también, puede unirse con otra carga positiva y formar una molécula del haluro o, más probablemente, reaccionar con la gelatina circundante. La carga positiva debe ser consumida porque siendo un agente oxidante puede ser capaz de destruir los conglomerados de plata producidos.

De este breve repaso del proceso fotográfico primario, es claro que una secuencia de eventos debe verificarse antes que un grano de haluro de plata se convierta en revelable. La movilidad de los componentes es diferente, siendo más rápida en los electrones, seguidos de cargas positivas y los más lentos son los iones de plata. Estas diferencias en la movilidad contribuyen a la naturaleza probabilística de la formación de la imagen latente. Mediante el ejercicio de algún control sobre las tasas de movilidad y otras variables, se pueden diseñar emulsiones que se desempeñen de manera óptima bajo ciertas condiciones de exposición y revelado. Muchas limitaciones son introducidas por la necesidad de mantener la estabilidad del producto en condiciones normales de almacenamiento y uso. Algunos métodos para alterar las características de rapidez se aplican posteriormente a la elaboración del producto y poco tiempo antes de su exposición. Estos últimos trabajan mejor porque proporcionan un ambiente más favorable, aunque temporal, en el cual los complejos mecanismos de la formación de imagen latente pueden verificarse.

5.2.- *Clases de Situaciones de Registro.*- La Selección de un material fotográfico y la posible aplicación de un método para aumentar su rapidez, deben basarse en el establecimiento de la situación en el registro de la imagen. En fotografía científica, la detección de señales débiles frecuentemente implica situaciones de bajos niveles de radiación, aunque hay casos en los que una señal débil se deriva de una fuente muy luminosa que se presenta por un corto periodo de tiempo.

Es esencial establecer si la señal que se desea registrar existe con la ausencia virtual de ruido de fondo (alto cociente señal-ruido), o en la presencia de ruido de fondo significativo (bajo cociente señal-ruido). Nos referiremos en esta sección a la condición de registro con alto cociente señal-ruido como una situación "Clase I", y a la condición de registro con bajo cociente señal-ruido como una situación "Clase II". Un Ejemplo de registro Clase I es la fotografía de estrellas o nebulosas a través de filtros de interferencia; mientras que un ejemplo de situación Clase II es la detección de estrellas tenues con telescopios de gran apertura y corto radio focal, donde el fondo es típicamente más potente que la señal.

5.2.1.- *Detección Clase I: alto cociente señal-ruido.*- La detección clase I es aquella donde el ruido es de magnitud despreciable y donde la señal que se pretende registrar, aunque débil, domina la exposición. En este caso, el primer criterio de selección de un material es suficiente rapidez para registrar la señal considerando las limitaciones de tiempo impuestas. Segundo: consideraciones espectrales y por último, el mayor cociente señal-ruido posible en el proceso de detección.

El cociente señal-ruido de una imagen fotográfica se define como:

$$SNR = \frac{D_I - D_B}{\sigma(D)} = \frac{D_R}{\sigma(D)}$$

donde:

- D_I Densidad Media de la Imagen
 D_B Densidad Media del Fondo
 $\sigma(D)$ Granularidad en D .

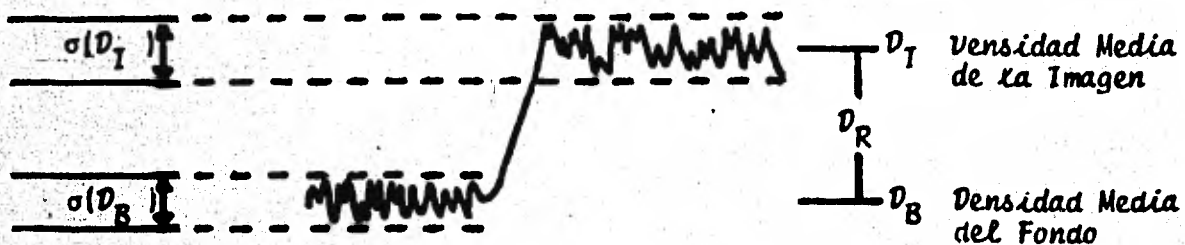


Figura 2.18.- Cociente señal ruido. $\sigma(D)$ es el ruido de fondo debido a granularidad.

Para un material fotográfico dado, el cociente S/R obtenido aumenta con la exposición, alcanza un máximo y, en algunos materiales, decrece con el aumento de la exposición.

En la práctica, la exposición de la detección Clase I debe procurarse de manera que todas las densidades de la imagen se encuentren en la porción baja de la parte recta de la curva característica. Si se dispone de suficiente exposición para operar a mayores densidades, conviene usar un material con menor rapidez, y por lo tanto, menor granularidad.

- Técnica de exposición previa.- Si el material disponible no ofrece suficiente rapidez para registrar una señal débil Clase I en la porción baja de la parte recta de su curva característica, una exposición previa puede ser útil. Exponiendo la emulsión a un nivel luminoso bajo, uniforme, previamente a la exposición de la señal débil. Esto resulta como una elevación de la densidad de neblina en la imagen final, pero también eleva la exposición en la zona de la señal a una pendiente mayor en la

curva característica; de manera que D_R aumenta el valor más rápidamente que la granularidad.

Lo anterior se ilustra en la Figura 2.19:

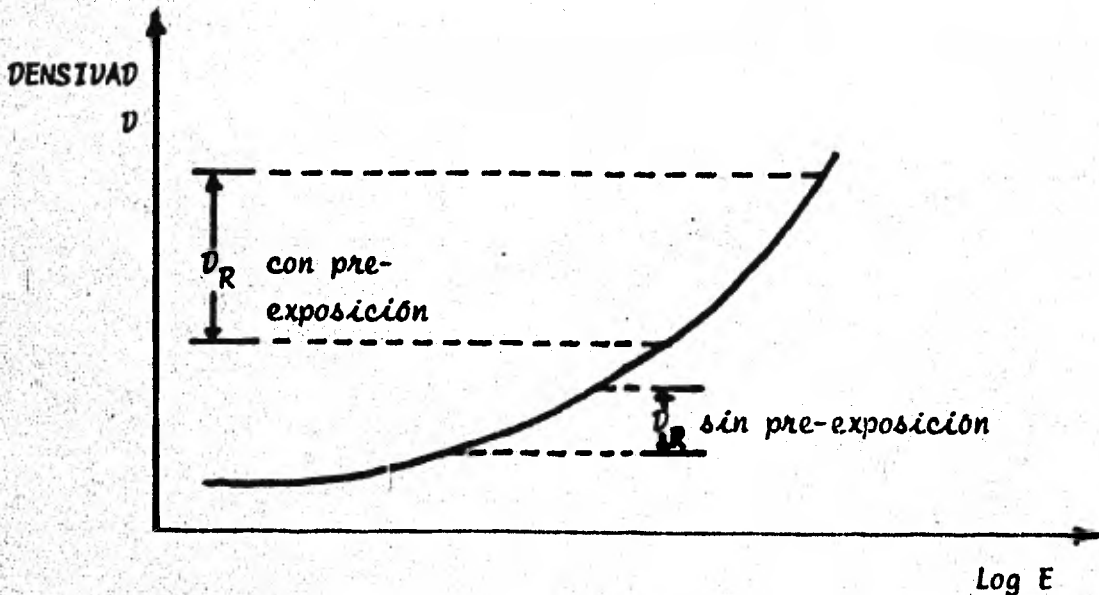


Figura 2.19.- Incremento en D_R con Pre-Exposición.

Se asumió que en Clase I se dispone de una cantidad limitada de energía en la señal y no puede aumentarse con tiempo, por lo tanto, la energía de la señal es una constante.

Cuando la exposición se trabaja en flujo de fotones, la diferencia entre la exposición de la señal y la del fondo permanecerá constante aunque la exposición previa se incremente. Con base al concepto de eficiencia cuántica, puede demostrarse que el criterio para maximizar el cociente S/R es exponiendo previamente para obtener una exposición en el área de la señal tal que se dé el valor máximo de:

$$\frac{G}{\sigma(D)} = \frac{dD/dE}{\sigma(D)}$$

Nótese que G es la pendiente local de una curva $D-E$ (no $D-\log E$) y que este criterio difiere de la definición dada anteriormente.

5.2.2.- *Detección Clase II: bajo cociente señal-ruido.*- La detección Clase II involucra el registro de una señal débil en presencia de un alto nivel de ruido. Podríase, por ejemplo, intentar registrar una señal consistente en 10^4 fotones sobre una pequeña área de emulsión en donde la exposición de fondo contribuye con 10^5 fotones sobre cada área con dimensiones como las de la señal, incluyendo a la de esta.

En la detección Clase II, se pretende controlar la exposición del fondo, más que la de la señal misma. Aunque en estos casos obviamente se requiere una rapidez que produzca densidades útiles, es más importante un material de grano fino.

Buscamos un material que degrade lo menos el ya de por sí bajo cociente señal-ruido de la señal, que tenga alto contraste y en el que la eficiencia cuántica sea proporcional a:

$$\frac{(dD/d\log E)^2}{[\sigma(V)]^2} : S$$

donde:

S es una medida de la rapidez fotográfica.

De esta expresión puede interpretarse que es más importante tener grano fino y alto contraste, que tener rapidez, ya que los términos de la pendiente y la granularidad aparecen cuadrados, mientras que la rapidez aparece a la primera potencia.

6.- Técnicas para Incrementar la Rapidez Efectiva

- **Técnica del Horneado Controlado.**- Bowen y Clark (1940) encontraron que la falta de reciprocidad debida a exposiciones prolongadas en poca iluminación disminuta, si las placas se horneaban previamente a la exposición (24 horas a 50°C), reportando un incremento en la rapidez de 2 a 3X.

Esta técnica aumenta la rapidez efectiva de un material porque extien de el proceso químico de sensibilización y porque se quitan el oxígeno y la humedad excesiva de la emulsión. El resultado es una reducción en la probabilidad de que los electrones y las cargas positivas se recombinen. El incremento en rapidez por esta técnica no causa un aumento de granularidad $\sigma(D)$.

Por otro lado, la ganancia de rapidez con esta técnica, se dá al costo de una elevación del nivel de neblina y de un decremento en el tiempo de almacenamiento útil del producto. Frecuentemente se dispondrá de tiempos cortos de exposición, un minuto o menos, al aplicar esta técnica.

No todos los materiales reaccionan favorablemente a la técnica del horno; en particular, las placas sensibles al rojo no se aplican porque tienden a elevar rápidamente el nivel de neblina con poca ganancia de rapidez.

En una revisión de los experimentos de horneado, desempeñado durante algunos años, se confirmó en 1970 lo anterior y se apuntó la necesidad de hornear en una atmósfera seca uniformemente calentada.

- **Horneado en Gases Inertes o en el vacío.**- Durante el transcurso de un estudio básico del efecto del ambiente de exposición en el proceso fotográfico, Lewis y James de los Laboratorios de Investigación de Kodak, anotaron que la falta de reciprocidad disminuye si se expone el material en vacío o en atmósferas inertes. Este trabajo confirmó que el oxígeno y humedad degradan la rapidez de la emulsión. En base a

estos resultados, se introdujo en 1971 la técnica de horneado en atmósferas controladas. Pruebas con la placa espectroscópica Kodak Tipo IT1a-J mostraron que los resultados óptimos se obtienen horneando de 16 a 18 horas, a 65°C. en un flujo de nitrógeno seco provisto por un horno especialmente diseñado, obteniéndose la reducción de 80% en exposición necesaria. El aumento en nivel de neblina se limitó a 0.3 densidad especular. La ganancia de rapidez mediante esta técnica se pierde si las placas se manipulan en el aire ambiente del área de trabajo, especialmente si se trata de aire húmedo y tibio. En climas secos, las placas horneadas se conservan en un ambiente de nitrógeno, por ejemplo, hasta el último momento previo a la exposición. En climas húmedos, se debe proveer un flujo de nitrógeno seco en el momento de la exposición, debido a que el equilibrio en la atmósfera adyacente a la emulsión se restituye rápidamente. Se han obtenido mejoras en los resultados de materiales sensibles a la parte roja del espectro, controlando la atmósfera durante el horneado.

- Inmersión de soluciones líquidas.- Esta técnica para aumentar la rapidez efectiva de materiales fotográficos, consiste en sumergir el material en agua destilada, o una solución diluida de un alkali como el amoníaco. Usamos el término hipersensibilización cuando nos referimos a las diferentes variantes de esta técnica, aunque el término se usa también frecuentemente en relación con otros métodos que tienen el mismo propósito, aumentar la rapidez efectiva de un material previamente a su exposición.

Aunque puede parecer un proceso simple, las técnicas de inmersión publicadas son resultado de experimentación para reducir a un mínimo las variables introducidas. Estas técnicas deben aplicarse justo antes de la exposición, ya que se tiene un rápido crecimiento disparado del nivel de neblina y una degradación de la rapidez obtenida, al almacenar estos materiales tratados.

- Emulsión Fría.- Es posible reducir la falla de reciprocidad de un material enfriando la emulsión. A diferencia de las técnicas de horneado e hipersensibilización, en las cuales la aplicación es previa a la exposición, el enfriado de la emulsión tiene que mantenerse durante la exposición. Esto requiere de equipo especializado para mantener un proceso de refrigeración y un sistema de dehumidificación. También debe controlarse la turbulencia térmica inducida provocada por el amplio rango de temperaturas en el sistema óptico.

El proceso de refrigeración favorece el atrapado de electrones en un porcentaje de centros químicos activos, mientras que se reduce la movilidad de las cargas positivas. Se tiene así una menor probabilidad de recombinación. El movimiento de iones de plata también se reduce, de manera que la formación de cumulos revelables estables se retarda hasta el momento en que la emulsión se lleva a temperatura ambiente justo antes de su revelado. Conforme se entibia, la movilidad de los iones de plata se restablece y el proceso de formación de la imagen latente, continúa.

En la mayoría de los materiales fotográficos, el rango óptimo de temperaturas para aplicar esta técnica es de -20 a -30°C , a temperaturas más bajas, aunque la curva de la reciprocidad se hace más horizontal, se pierde rapidez neta.

CAPITULO III

REGISTRO DIGITAL DE LA IMAGEN

1.- Representación Binaria de Información

- Sistema de Numeración Binario.- Tenemos que para cualquier sistema de numeración:

$$\text{DEF. 1.1} \quad N = B^M$$

donde:

N = Número de datos diferentes que pueden representarse.

B = Base del Sistema (Número de Símbolos diferentes).

M = Número de unidades de información.

Así, para el sistema decimal convencional, un dígito (unidad de información) nos permite representar $10^1 = 10$ posibles datos diferentes (0 a 9); dos dígitos nos permiten representar 10^2 datos, (0 a 99).

$$\text{DEF. 1.2} \quad \text{Cada unidad de información } P$$

$P = 0, \dots, B$ contribuye con una cantidad $P \cdot B^J$, $J = 0, \dots, M-1$ al valor que representa la configuración de las M unidades de información. En esta relación, J = posición relativa dentro de la configuración, contada de derecha a izquierda (menor a mayor órdenes), comenzando en el cero.

Ejemplo: En el número decimal 1508, el valor del dato se obtiene de:

1	5	0	8	
				$8 \times 10^0 = 8$
				$0 \times 10^1 = 0$
				$5 \times 10^2 = 500$
				$1 \times 10^3 = 1000$
				<hr style="width: 50px; margin: 0;"/>
SUMA:				1508

Con las cuatro unidades de información (dígitos) del ejemplo, pueden representarse $10^4 = 10000$ diez mil valores posibles (0 a 9999).

Para el Sistema Binario de numeración: $B = 2$, tenemos en éste al sistema de numeración más sencillo, ya que para $B = 1$, tenemos un solo símbolo que solamente puede darnos una configuración: la del mismo símbolo repetido en las M unidades de información.

Los dos símbolos convenidos para el Sistema Binario son 0 y 1 por simplicidad. Este concepto se extiende fácilmente a componentes electrónicos (prendido o apagado; positivo o negativo), así como a la lógica matemática (verdadero o falso; sí o no); una de dos opciones únicamente. Debido a lo anterior, el Sistema Binario ofrece grandes ventajas al diseño de circuitos lógicos, contribuyendo al desarrollo de los procesadores electrónicos de información de que se dispone actualmente.

1.1.- Elementos de Almacenamiento de Información

- Elementos Físicos.- El Sistema Binario es fácilmente representable en un número de arreglos físicos, por ejemplo, si se cuenta con una cantidad de bombillas eléctricas de vacío, la información se interpretará según esté encendida o apagada cada bombilla y la cantidad que representa cuando encendida, está determinada por la posición que ocupa en el arreglo. Análogamente en una línea de casilleros, la información se representará por presencia o ausencia de objetos en los casilleros; gráficamente pueden usarse una sucesión de barras blancas o negras, o puntos y rayas. Una hoja de material fotográfico sirve de medio de representación binaria si se registra presencia o ausencia de densidad en un arreglo de celdas en el material. Mediante una onda cuadrada, se representa información binaria con amplitud o sin ella para cada pulso; este último concepto es empleado en la transmisión de información digital mediante ondas de radio.

En los computadores electrónicos actuales, se emplean circuitos integrados de semiconductores en los que cada elemento puede presentar - uno de dos estados, los cuales se interpretan como los valores 1 y 0.

Estos componentes son de dimensiones muy pequeñas, permitiendo agrupar un número muy grande en relativamente poco espacio. Este medio de almacenamiento de información se conoce como memoria real, y aunque la tecnología moderna permite almacenar grandes cantidades de información en este medio, se hacen necesarios otros medios alternos - de almacenamiento de información.

Una superficie cubierta de un material ferromagnético, capaz de retener la magnetización en una parte discreta de sí, se presta para almacenar información binaria. Las aplicaciones más comunes de este principio se tienen en cintas y discos magnéticos, los cuales, al - presentar su superficie en movimiento ante un detector o inductor - magnético, ofrecen la información almacenada previamente o la reci- ben para ser almacenada.

En el medio de la computación electrónica, existen otros dispositi- vos de almacenamiento de información, como podrían ser las tarjetas o las cintas perforadas de papel, grabadas con perforadores mecáni- cos y leídas con sensores eléctricos o fotoeléctricos, pero su efi- ciencia es mínima comparada con la de los medios magnéticos, por lo que caen rápidamente en desuso.

- Elementos Lógicos.- Aunque se cuenta con un número limitado de convenciones para el agrupamiento de las unidades de información, - el producto de dos fabricantes diferentes puede ser incompatible. Para los experimentos de este trabajo, se empleó un procesador mar- ca IBM, Modelo 4331, el cual es descrito con más detalle en el capí- tulo 5. Esta máquina emplea una de las convenciones más difundida en cuanto a estructura lógica de la información binaria y es la que describimos a continuación.

DEF. 1.3 BIT, es la unidad de información y puede tomar los valores cero y uno. La cantidad que representa en un arreglo de BITS está dada por 2^J , donde: J es la posición relativa del BIT en el arreglo, contada de derecha a izquierda, multiplicado todo esto por el valor del BIT (uno o cero).

 BYTE, arreglo de 8 BITS, capacidad de representación: 256 (2^8), configuraciones distintas. A continuación se muestran tres.

i).- (0,0,0,0,0,0,0,0) CERO

ii).- (1,0,1,0,1,1,0,0) NUMERO 172.

	0 x 2 ⁰ =	0
	0 x 2 ¹ =	0
	1 x 2 ² =	4
	1 x 2 ³ =	8
	0 x 2 ⁴ =	0
	1 x 2 ⁵ =	32
	0 x 2 ⁶ =	0
	1 x 2 ⁷ =	128
	SUMA:	172

y por último, iii).- (1,1,1,1,1,1,1,1) número binario = $\sum_{i=0}^7 2^i$

= 255

DEF. 1.4 _____ PALABRA.- Arreglo de 4 BYTES.

Capacidad de representación:

$2^{32} = 4,294,967,296$ configuraciones diferentes.

_____ MEDIA PALABRA.- Arreglo de 2 BYTES.

Capacidad de representación:

$2^{16} = 65,536$ configuraciones diferentes.

En el apéndice A se muestran las reglas de aritmética binaria aplicadas.

2.- Representación Digital de la imagen.

Dado que las computadoras trabajan con números, la imagen debe interpretarse en forma numérica para poder almacenarse y trabajarse en un computador. Algunos sistemas electrónicos registran numéricamente - las imágenes percibidas, tal es el caso de las cámaras instaladas en las sondas espaciales. Para convertir una imagen registrada en un material fotográfico a su forma digital, se efectúa una conversión llamada Digitalización de la Imagen con un densitómetro digital, aparato descrito en la sección 2.2 (de este Capítulo).

El principio de la Imagen Digital se ilustra con referencia a la - -
Figura 3.1.

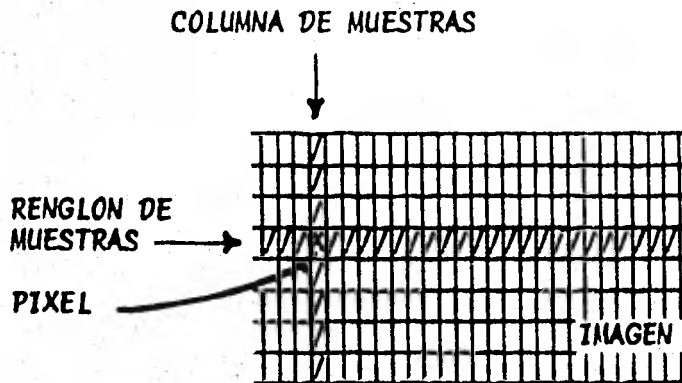


Figura 3.1.- Elementos de la Imagen Digital

La unidad pictórica es conocida como *pixel*; su ubicación dentro de la imagen está dada por las coordenadas del elemento en la matriz. El contenido del *pixel* corresponde a un valor numérico proporcional a una de las siguientes mediciones:

- Intensidad
- Transmitividad
- Opacidad
- Densidad
- Reflectividad o Reflectancia.

Estas cantidades se mencionaron antes en la sección 2 (Capítulo II).

El conocimiento de la ubicación y del valor de cada *pixel* nos permite representar la imagen en forma numérica y la hace susceptible de proceso electrónico.

2.1.- Tratamiento Matemático de la Formación de la Imagen.

Cada escena visual es una imagen, específicamente la imagen formada por el ojo humano en la retina. El ojo no es el único sistema de formación de imágenes; estas pueden ser formadas por sistemas ópticos o por radiación nuclear penetrante. Los principales elementos involucrados en la formación de la imagen pueden representarse esquemática-

mente, como en la Figura 3.2. La caja entre los dos planos genera la imagen actuando sobre una componente de la energía radiante del objeto. Esto incluye la posibilidad de que el sistema, a su vez, emita energía y actúe sobre la interacción de ésta con el objeto.

De esta manera, se ve que las imágenes están íntimamente ligadas con la percepción indirecta (transporte de energía) desde una región separada del alcance inmediato. La forma física del sistema de Formación de la Imagen es menos importante que las ecuaciones que gobiernan tal proceso. Estas matemáticas se encuentran bien desarrolladas y se relacionan con facilidad a la teoría de sistemas lineales.

La naturaleza básica de los sistemas de Formación de Imágenes es que presentan una conducta global en el proceso por el cual forman las imágenes.

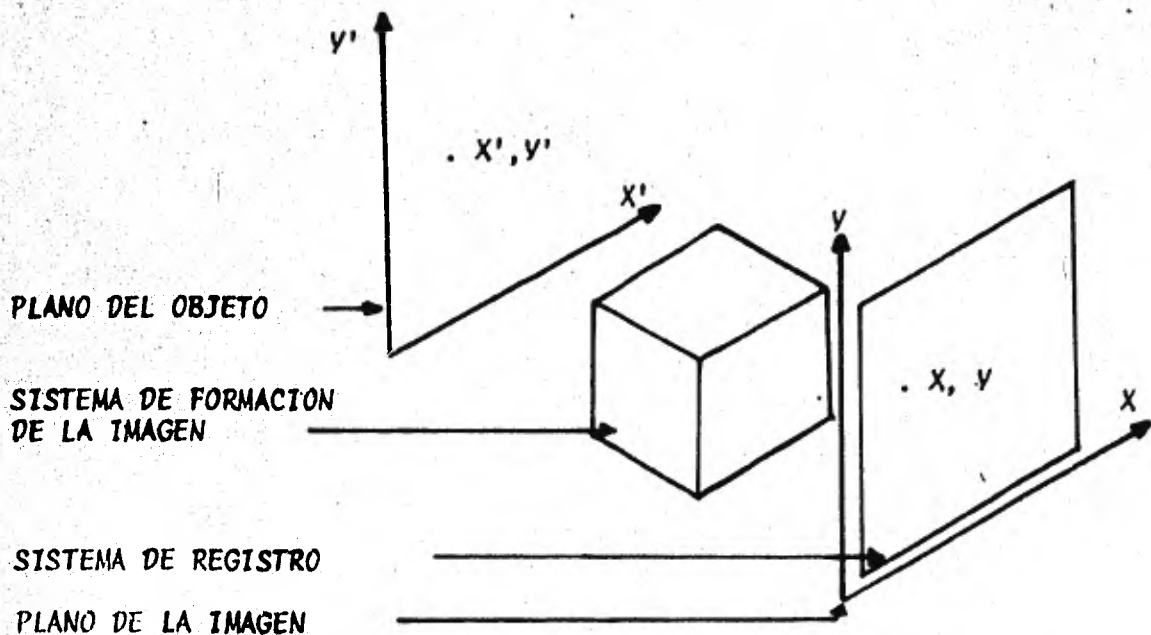


Figura 3.2.- Diagrama Esquemático de la Formación de Imágenes.

Considérese un punto en el plano de la imagen (X, Y) ; la imagen en este punto es función de contribuciones en una vecindad (que puede ser infinita) del punto (X', Y') . Sean:

$G(X, Y)$ DISTRIBUCION DE LA ENERGIA RADIANTE DE IMAGEN.

$F(X', Y')$ DISTRIBUCION DE LA ENERGIA RADIANTE DE OBJETO.

La descripción más general de G es:

$$G(X, Y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} H(X, Y, X', Y', F(X', Y')) dx' dy' \dots (3.1)$$

La función H , involucrando la distribución de energía del objeto como argumento, deja lugar para procesos no lineales en la formación de la imagen, dado que no se asume nada respecto de linealidad. La función H , respuesta del sistema al estímulo (F) , es conocida como la función de dispersión del punto (del inglés Point Spread Function).

El asumir que la PSF pesa la distribución objeto como un multiplicador escalar simplifica su forma, ya que en este caso:

$$H(X, Y, X', Y', F(X', Y')) = H(X, Y, X', Y') F(X', Y') \dots (3.2)$$

y la ecuación de la formación de imagen resulta lineal:

$$G(X, Y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} H(X, Y, X', Y') F(X', Y') dx' dy' \dots (3.3)$$

La siguiente simplificación viene de asumir que la PSF es invariante con respecto a la posición, esto es:

$$H(X, Y, X', Y') = H(X - X', Y - Y') \dots (3.4)$$

lo que nos lleva a la convolución bidimensional

$$G(X, Y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} H(X - X', Y - Y') F(X', Y') dx' dy' \dots (3.5)$$

Finalmente, asumiendo que la PSF es separable, o sea:

$$H(X, Y, X', Y') = H_1(X, X') H_2(Y, Y') \quad \dots (3.6)$$

$$H(X - X', Y - Y') = H_1(X - X') H_2(Y - Y') \quad \dots (3.7)$$

nos lleva a dos operaciones de una variable sobre la distribución objeto

$$G(X, Y) = \int_{-\infty}^{\infty} H(X, X') \left[\int_{-\infty}^{\infty} H(Y, Y') F(X', Y') dy' \right] dx' \quad \dots (3.8)$$

$$G(X, Y) = \int_{-\infty}^{\infty} H(X - X') \left[\int_{-\infty}^{\infty} H(Y - Y') F(X', Y') dy' \right] dx' \quad \dots (3.9)$$

y el orden de integración es arbitrario.

La ecuación 3.3 describe la formación de imágenes bajo una PSF dependiente de la posición; la ecuación 3.5 describe la formación de imágenes bajo una PSF independiente de la posición.

Bajo la suposición de lentes ideales (sin aberraciones), puede demostrarse que:

- 1). Las lentes tienen la capacidad de efectuar transformadas de Fourier;
- 2). Un sistema óptico de formación de imágenes puede ser descrito por un modelo independiente de la posición (3.5);
- 3). La PSF H , en la ecuación 3.5, es la transformada de Fourier de la pupila de salida de luz coherente y es la transformada de Fourier de la función de autocorrelación de la pupila de salida de luz incoherente.

En el sistema fotográfico, la PSF de la emulsión muestra la forma y el tamaño de la distribución de densidades en la imagen puntual más pequeña (véase Capítulo II, Sec. 3.4.1 y Fig. 2.14), en este ejemplo, dicha distribución resulta de los efectos combinados del sistema óptico y de aquellos de la emulsión, como turbiedad, agudeza y contraste.

Generalmente, se expresa en el ancho de la gráfica medida en $D = (0.10)D_{MAX}$. Ejemplos de valores numéricos medidos, son:

27 μm . (Royal Pan-X; grano grueso) y menor a 1 μm en el caso de la placa tipo 649; alta resolución. El diámetro de la PSF de D_{MIN} es una medida aproximada del tamaño mínimo de la unidad de información, que puede ser registrada en una emulsión fotográfica.

En este punto, se enfatiza el hecho de que las ecuaciones 3.8 y 3.9 describen cualquier sistema de Formación de Imágenes, el proceso de transporte de radiación involucrado es común a todos y los unifica matemáticamente por tratarse de un proceso lineal, aditivo e invariante espacial. Un sistema de Formación de Imágenes se complementa con un sistema de registro de la imagen formada. Este último puede ser de uno de los dos grupos principales: fotoquímicos y fotoelectrónicos, ejemplificados por las tecnologías fotográfica y de televisión, respectivamente. Ambas fuentes son usadas con frecuencia para proveer la imagen a un proceso digital.

El proceso digital de una imagen no se efectúa en tiempo real, esto es, en el momento de su formación y es por eso que el sistema de registro es esencial para disponer de la imagen después de formada.

2.2.- Densitómetro Digital.

Varias configuraciones de equipo han sido propuestas y usadas para convertir imágenes a su forma digital mediante los siguientes procedimientos principales:

- División de la imagen en elementos pictóricos o pixels.
- Identificación y referencia de cada pixel individualmente.
- Medición del nivel de gris de cada pixel.
- Cuantización de esta medida (continua) para producir un número entero.

- Registro del conjunto de enteros obtenidos en un dispositivo de almacenamiento de información.

Para lograr lo anterior, un densitómetro digital (enunciado comúnmente como digitalizador), debe tener cinco elementos:

- I.- *Apertura de muestreo.*- Permite al digitalizador acceder cada pixel individualmente ignorando el resto de la imagen.
- II.- *Mecanismo de rastreo.*- Tiene el propósito de mover la apertura de muestreo sobre el área de la imagen en un patrón predefinido.
- III.- *Sensor.*- Este elemento tiene el propósito de medir la brillantez de cada pixel a través de la apertura de muestreo. Generalmente consiste en un transductor que convierte intensidad luminosa en voltaje o corriente eléctrica. Ejemplos: celdas fotovoltaicas y fotoconductores.
- IV.- *Cuantizador.*- Convierte la salida continua del sensor en un valor entero. Generalmente, el cuantizador es un circuito electrónico llamado "convertidor analógico a digital". Produce un número entero proporcional al voltaje o corriente eléctrica.
- V.- *Medio de Registro.*- El conjunto de enteros generados por el cuantizador, debe ser almacenado en un formato apropiado para su posterior proceso. Técnicamente, este elemento podría omitirse si la imagen fuese procesada en tiempo real, como se mencionó en la sección anterior, la digitalización de la imagen se hace en tiempo diferente que el proceso, lo que hace necesario el medio de registro o almacenamiento. Este puede ser cinta o disco magnético e inclusive tarjetas o cinta perforada de papel, pero dada la cantidad de datos generalmente involucrada en el proceso digital de imágenes, se hacen imprácticos estos dos últimos.

Aunque los digitalizadores disponibles difieren en los aparatos que usan para desempeñar su función, pueden ser comparados sobre la base de una serie de características comunes de las que se mencionan a continuación las más importantes:

- Tamaño de la apertura de muestreo y espaciamiento entre pixels adyacentes (resolución).
- Medidas posibles de la imagen a digitalizar (formato). En el caso de un rastreador de película, el tamaño 35 mm. (24 x 36 milímetros) o placas de rayos X de 11 x 14 pulgadas, por ejemplo.
- Parámetro medido y cuantizado.- Anteriormente en este capítulo, se mencionó que el pixel contiene un valor numérico proporcional a una de cinco mediciones:
 - . Transmitividad.
 - . Densidad Óptica.
 - . Opacidad.
 - . Reflectividad.
 - . Intensidad.

De estas cantidades, las más comúnmente usadas son las dos primeras.
- Linealidad de la Digitalización.- Es necesario conocer con qué precisión los niveles medidos son proporcionales al parámetro medido. La validez del proceso puede ser distorsionada por un digitalizador no lineal.
- Número de niveles de gris a los que el instrumento cuantiza.- Los primeros digitalizadores tenían sólo dos niveles: blanco y negro. Actualmente, es común un rango de 256 niveles (8 BITS por pixel) aunque la tecnología actual permite manejar un rango más extendido.
- Nivel de ruido.- Si una imagen de un solo nivel de gris es presentada a un digitalizador, el ruido inherente al sistema causará variaciones en la lectura, aunque el parámetro medi-

do sea constante. El ruido introducido por el digitalizador constituye una fuente de degradación de la imagen y debe ser pequeño, en comparación con el contraste de la imagen.

2.3.- Reconstrucción y desplegado de la imagen.

El desplegado de la imagen es el eslabón final en la cadena de eventos del proceso digital de imágenes, su propósito es convertir la imagen digital en imagen visible. El desplegado no es estrictamente necesario si el análisis ofrece resultados en forma de decisiones o numérica, pero es muy útil y necesario para los procesos que ofrecen niveles de gris como resultado.

El ojo humano es capaz de resolver aproximadamente 40 niveles de gris. Esto significa que si el rango entre blanco y negro se divide en más de 40 intervalos iguales, dos niveles de gris adyacentes parecen iguales al ojo humano.

Existen dos tipos básicos de sistemas de despliegue, permanentes y temporales. Los de tipo permanente producen una representación de la imagen en papel, material fotográfico o cualquier otro tipo permanente de registro. Los de tipo temporal, generalmente se apoyan en una pantalla, ya sea de proyección o de un tubo de rayos catódicos (CRT) y, en estos, la imagen es visible hasta ser reemplazada por otra o hasta la desactivación del aparato.

Generalmente, un sistema de despliegue produce una imagen en la que ya sea brillantez o densidad de cada pixel desplegado, se controla directamente por el nivel de gris del pixel correspondiente en la imagen digital. El objetivo principal de un sistema de despliegue de imágenes digitales, es permitir al investigador el entendimiento y la interpretación del contenido en la imagen. En algunos casos es conveniente ajustar el sistema a las características del ojo humano. Ejemplo: el ojo humano presenta considerable agudeza para discrimi-

nar detalles finos (alta frecuencia espacial) y no es muy sensible a variaciones lentas (baja frecuencia). Algunas imágenes serán mejor comprendidas si se despliegan indirectamente usando líneas de contorno, derivadas o alguna representación gráfica.

2.3.1.- Características del Despliegue:

- Tamaño físico del despliegue.- Debe ser suficientemente grande para permitir su examen e interpretación.
- Tamaño máximo de imagen digital (en número de pixels) que el sistema puede manejar. El despliegue debe ser adecuado para el número de líneas y el número de muestras por línea de la imagen a desplegar.
- Resolución fotométrica.- En sistemas de despliegue, esto se refiere a la precisión con que el sistema reproduce la densidad o brillantez correcta en la posición de cada pixel. Es de particular interés el número de niveles discretos de gris que el sistema puede generar; este número tiene relación directa con el número de BITS usado para representar cada pixel. Algunos sistemas solamente pueden manejar datos de 4 BITS, y pueden producir un máximo de 16 niveles de gris, mientras que otros manejan datos de 8 BITS y un rango de 256 niveles de gris.
- Linealidad en la escala de grises.- Esta es una característica importante en un sistema de despliegue y se refiere al grado al que la brillantez o densidad generada es proporcional al nivel de gris original.

Cualquier sistema de despliegue presentará una curva de transferencia entre el nivel de gris desplegado y la brillantez o densidad producida. Esta curva debe ser razonablemente lineal y constante para todas las representaciones. El ojo humano no

es un fotómetro muy preciso, pequeñas desviaciones de la linealidad en la curva de transferencia no son detectadas, mas si esta curva presenta hombro o pie pronunciados en un extremo o en el otro, una parte de la información de la imagen será degradada o perdida en las áreas muy brillantes o muy oscuras.

- Respuesta al campo homogéneo.- Es una característica importante que afecta la calidad del desplegado y consiste en la habilidad del sistema para representar un campo homogéneo o región con pixels de igual valor. Depende de la forma del pixel y de su espaciado en relación a su tamaño y existe una estructura matemática para analizar la respuesta de un sistema de despliegue a éste y a otros patrones típicos.

3.- Tratamientos Digitales

3.1.- Histograma de niveles de gris.- Se trata de la más simple y útil herramienta en el proceso digital de imágenes. Esta función resume el contenido de grises de una imagen. Se define como la función que muestra para cada nivel de gris el número de pixels en la imagen que tienen ese nivel. La abscisa es el nivel de gris y la ordenada es frecuencia (número de pixels).

Existe una manera más formal de definir el histograma, y su práctica nos dará una visión de la utilidad de esta función.

Supongamos que tenemos una imagen continua definida por la función $D(X,Y)$ que varía lentamente en los tonos de gris; de negro en el centro a blanco en los bordes. Seleccionamos un cierto nivel de gris D_j intermedio y definimos un conjunto de líneas de contorno conectando todos los puntos con nivel D_j . Las líneas de contorno resultante forman curvas cerradas que rodean regiones en las que el valor del nivel de gris es mayor o igual a D_j . La figura 3.3 muestra una imagen conteniendo una línea de contorno en el nivel D_j , una se-

gunda línea de contorno se dibuja para un nivel D_2 mayor que D_1 . Llamemos A_1 al área de la región contenida dentro de la primera línea de contorno y similarmente, A_2 al área contenida por la segunda línea.

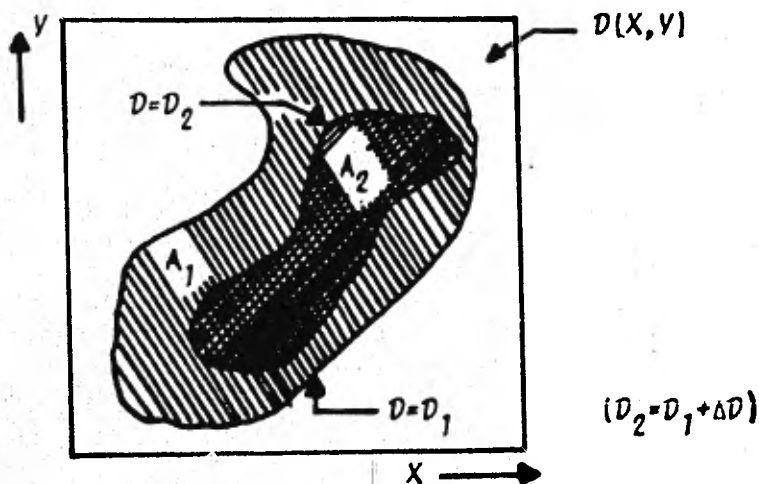


Figura 3.3.- Líneas de Contorno en una Imagen.

La función de área umbral $A(D)$ de una imagen continua es el área contenida por todas las líneas de contorno de nivel D . Y el histograma puede ser referido como:

$$H(D) = \lim_{\Delta D \rightarrow 0} \frac{A(D) - A(D + \Delta D)}{\Delta D} = -\frac{dA(D)}{dD} \quad \dots (3.3)$$

de manera que el histograma de una imagen continua es el negativo de la derivada de su función de área. El signo negativo indica que $A(D)$ decrece al crecer D . Si la imagen se considera como una variable aleatoria de dimensiones, la función de área es proporcional a su función de distribución acumulativa y su histograma de niveles es su función de densidad de probabilidad.

En el caso discreto, se tiene un conjunto finito de valores de D ,

generalmente se usan los primeros N enteros no negativos. En este caso, el incremento ΔD mínimo es igual a la unidad y la ecuación del histograma es:

$$H(D) = A(D) - A(D+1) \quad \dots (3.4)$$

La función de área de una imagen digital es el número de pixels con nivel de gris mayor o igual a D para cualquier nivel D .

3.1.1.- Propiedades del Histograma.- Cuando una imagen se condensa en un histograma, toda la información espacial es descartada. El histograma especifica el número de pixels con cada nivel de gris, pero no nos dice dónde están localizados éstos en la imagen. De manera que el histograma es único, dada la imagen, pero el inverso no se cumple. Imágenes muy diferentes podrían tener el mismo histograma. Operaciones tales como mover un objeto dentro de la imagen, no afectan mayormente el histograma; de cualquier manera, el histograma tiene algunas propiedades útiles.

Si cambiamos variables en la ecuación 3.3 e integramos desde D hasta infinito, encontramos que:

$$\int_D^{\infty} H(P) dP = - \left[A(P) \right]_D^{\infty} = A(D) \quad \dots (3.5)$$

tenemos la función de área. Si entonces hacemos $D=0$, asumiendo que no hay niveles negativos, tenemos:

$$\int_0^{\infty} H(P) dP = \text{AREA DE LA IMAGEN.} \quad \dots (3.6)$$

en el caso discreto:

$$\sum_{D=0}^K H(D) = (\text{NUM. DE LINEAS}) \times (\text{NUM. DE MUESTRAS}) \quad \dots (3.7)$$

(K = NUMERO TOTAL DE NIVELES)

Si la imagen contiene un solo objeto uniforme en un fondo contrastante, y estipulamos que su frontera es la línea de contorno definida por el nivel D_1 , entonces:

$$\int_{D_1}^{\infty} H(D) dD = \text{AREA DEL OBJETO.} \quad \dots (3.8)$$

si la imagen contiene múltiples objetos, con frontera en línea de contorno definida por D_1 , entonces la ecuación (3.6) nos da el área total de todos estos objetos.

El histograma indica si la imagen está usando debidamente todos los niveles de gris disponibles. Normalmente, una imagen digital debe usar casi todos los niveles de gris disponibles. De no hacerlo, se aumenta el intervalo efectivo de cuantización y se provoca que la imagen ocupe más elementos de información que los que su contenido requiere. La Figura 3.4 muestra el histograma de una imagen de bajo contraste. Como el histograma es cero para niveles de gris menores al 16 y mayores a 200, el rango entre el pixel más oscuro y el más claro se divide en menos de los 256 niveles disponibles con datos de 8 BITS. Este ejemplo es típico de imágenes producidas con un digitalizador con baja sensibilidad y puede usarse una función de punto (sección 3.2) para expandir el rango de niveles y ocupar los 256 niveles, pero la información perdida no puede obtenerse a menos que se digitalice nuevamente.

La situación opuesta se ilustra en la Figura 3.5. Este histograma es típico de imágenes producidas con un digitalizador no calibrado. Toda la escala de grises es usada, pero los niveles de las áreas muy claras y muy oscuras ha sido forzado a caber en el rango disponible. El histograma se extendería por debajo del cero y por arriba del 255 si no existieran estos límites. Este procedimiento destruye las diferencias entre pixels en áreas muy claras o muy oscuras y causa la pérdida de detalle en estas. Las áreas de grises intermedios no son - - afectadas.

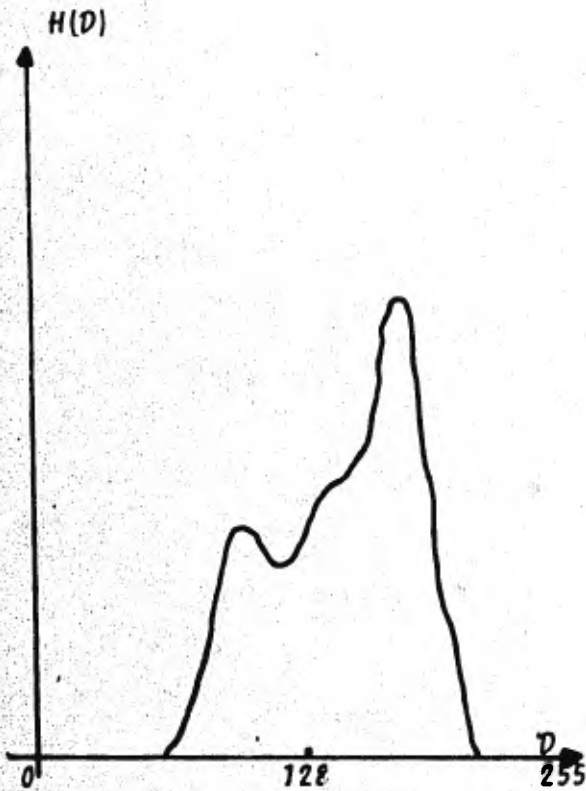


Figura 3.4.- Histograma de una Imagen con Bajo Contraste.

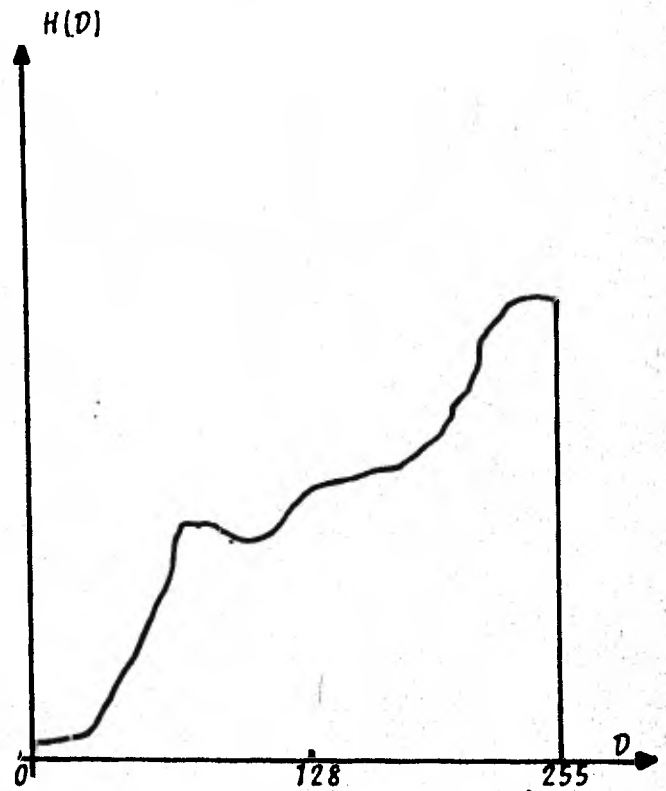


Figura 3.5.- Histograma de una Imagen con Alto Contraste.

3.2.- Operaciones de Punto.- Las operaciones de punto constituyen una simple, pero importante clase de técnicas de proceso de imágenes; permiten modificar la manera como los datos cubren el rango de grises disponible. Una operación de punto es, por definición, una operación con una sola imagen de entrada y una imagen de salida, de manera que el valor de cada pixel de salida depende solamente del valor del pixel de entrada correspondiente. Esto se diferencia de las operaciones locales, en las que una vecindad de pixels de entrada determina el valor de cada pixel de salida. De hecho, en una operación de punto, cada pixel de salida es función del pixel de entrada con las mismas coordenadas. Debido a esto, una función de punto no puede modificar la re-lación espacial de los pixels de una imagen. Estas operaciones son

conocidas también como elevación de contraste, encogimiento de contraste y manipulación de la escala de grises.

Las operaciones de punto modifican la escala de grises en una imagen, pueden ser vistas como operaciones que copian píxel por píxel, modificando el nivel de gris de manera predeterminada.

Una operación de punto que toma una imagen $A(X,Y)$ y genera una imagen $B(X,Y)$ puede ser expresada matemáticamente como:

$$B(X,Y) = f [A(X,Y)] \quad \dots (3.9)$$

La operación de punto queda completamente especificada por la función f , que determina el mapeo de nivel de gris de entrada a nivel de gris de salida.

Las operaciones de punto pueden ser usadas para remover los efectos de la no linealidad del sensor usado en la digitalización; pueden transformar la escala de niveles de gris de manera que represente incrementos iguales en intensidad luminosa. Este es un ejemplo de descalibración fotométrica. Otra aplicación para estas operaciones es la transformación de las unidades usadas para la escala de grises; su póngase que una imagen fue digitalizada con un instrumento que produce valores de niveles de gris proporcionándoles a la transmitancia. Una operación de punto podría generar una imagen en la que los valores de nivel de gris son proporcionales a la densidad óptica.

Algunos sistemas de despliegue tienen un rango de niveles de gris en el que los detalles son más visibles que en otro rango de niveles, aunque se tenga el mismo contraste local; en este caso, podría usarse una operación de punto para asegurar que los detalles de interés se representan en el rango de "mayor visibilidad".

También puede darse el caso en el que los detalles de interés ocupan

un rango relativamente pequeño de niveles, aquí la operación de punto permitiría expandir el contraste de estos detalles para que ocupen un rango mayor en la escala de grises.

Otras operaciones de punto que pueden mencionarse son las de manifestación de contornos y umbrales.

- Operaciones Lineales de Punto.- Como ejemplo, tomamos la más sencilla de las operaciones de punto, la lineal, en la que el nivel de gris resultante es función lineal del nivel de gris de entrada. En este caso, la función de transformación de la escala de grises (3.9), toma la forma:

$$D_B = f(D_A) = aD_A + b \quad \dots (3.10)$$

donde D_B es el nivel de gris del punto de salida correspondiente a un punto de entrada con nivel de gris D_A (Figura 3.6). Si $a = 1$ y $b = 0$, tenemos la operación identidad que meramente copia $A(X,Y)$ como $B(X,Y)$. Si a es mayor que 1, el contraste de la imagen de salida será mayor; para a menor que 1, el contraste se reduce. Si $a = 1$ y b es diferente de cero, la operación desplaza los valores de los niveles de gris hacia arriba o hacia abajo, según el signo de b . El efecto de esto es hacer aparecer la imagen más oscura o más clara al desplegarse. Si a es negativa, las áreas oscuras se tornan claras, las áreas claras se tornan oscuras y se dice que la imagen ha sido complementada.

- Obtención del Histograma Constante.- Una operación de punto que dada una imagen produzca otra con igual número pixels en cada nivel de gris, es de gran utilidad, ya que permite poner diferentes imágenes en un formato consistente para compararlas.

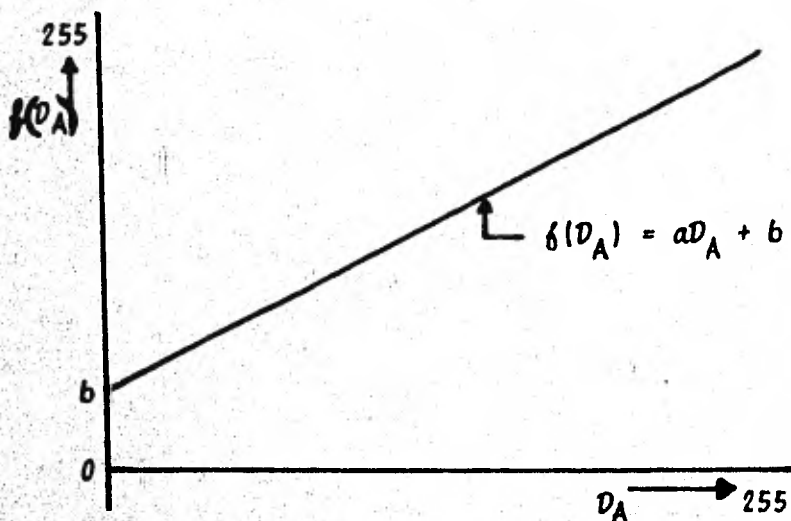


Figura 3.6.- Operación Lineal de Punto.

Al dividir el histograma $H(D)$ entre el área total de la imagen (véase Ec. 3.8), queda normalizado y tenemos la función de densidad de probabilidad de la imagen. Similarmente, la normalización de la función de área nos da la función de distribución acumulativa de la imagen, matemáticamente:

$$p(d) = \frac{1}{A} H(d) \quad \dots (3.11)$$

Función de densidad de probabilidad de la imagen.

$$P(d) = \int_0^d p(\mu) d\mu = \frac{1}{A} \int_0^d H(\mu) d\mu \quad \dots (3.12)$$

Función acumulativa de distribución.

La siguiente figura esquematiza estas funciones para una cierta imagen.

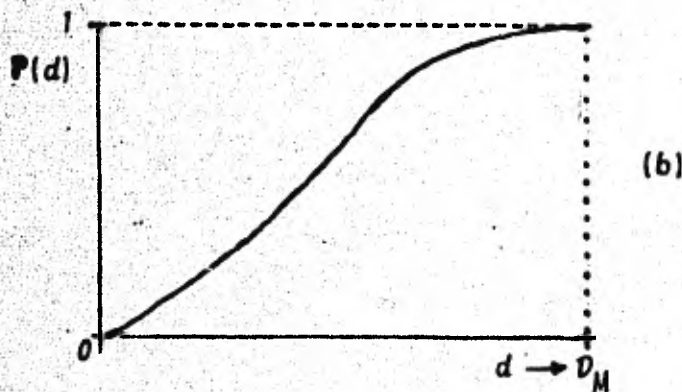
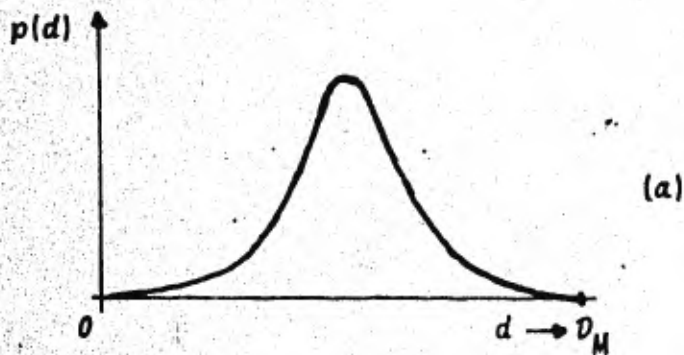


Figura 3.7.- (a) Función de densidad de probabilidad (histograma normalizado).
(b) Función acumulativa de distribución.

Puede demostrarse que la imagen B dada por:

$$B(X, Y) = \int [A(X, Y)] \quad \dots (3.13)$$

tendrá un histograma constante si:

$$\int_0^a p(u) du = D_M P(a) \quad \dots (3.14)$$

donde D_M es el nivel máximo de gris en la imagen. La función acumulativa de distribución es particularmente bien comportada y tanto la función como su pendiente no negativas.

Para el caso discreto, (3.14) puede expresarse como:

$$f(d_i) = \sum_{k=0}^i p(d_k) \cdot D_M = \frac{D_M}{A} \sum_{k=0}^i H(d_k) \quad \dots (3.15)$$

3.3.- *Propiedades del Sistema Visual Humano.*- El último juicio de una imagen es hecho por el ser humano, cuyo sistema visual posee características que lo hace no lineal y sin una fidelidad absoluta de respuesta.

La primera faceta del sistema visual humano es la percepción de la intensidad de la luz. Los experimentos con observadores humanos juzgando la diferencia "apenas notable" en el cambio de un estímulo luminoso con respecto a una intensidad de referencia, demuestran que la percepción humana de la intensidad luminosa no es lineal, mas bien muestra un comportamiento logarítmico en varios órdenes de magnitud.

Este hallazgo experimental subjetivo es consistente con la evidencia objetiva en la que se ha demostrado para ojos animales, que las neuronas sensibles a la luz y el nervio óptico se activan a un ritmo proporcional al logaritmo de la intensidad luminosa incidente sobre ellos, lo que representa una desviación considerable de la linealidad.

Una segunda faceta de la percepción visual humana es la respuesta del ojo a la frecuencia espacial. Tratada como un sistema lineal bidimensional (después de la transformación logarítmica de la intensidad luminosa), la respuesta del ojo a un pulso luminoso, no es una función de Dirac (delta sobre el pulso); el ojo opera mas bien sobre campos visuales incidentes con una función de dispersión de punto cuyo perfil de corte seccional se vé como en la Figura 3.8. El pico tipo Dirac del

centro y los lóbulos negativos laterales de esta respuesta al pulso, indican que el ojo procesa frecuencias espaciales como un filtro de paso-alto.

El uso de modelos del sistema visual humano parece lógico para futuras aplicaciones del proceso digital de imágenes, pero este sistema es tan complejo que el uso inapropiado de un modelo visual sobresimplificado puede perjudicar más que beneficiar.

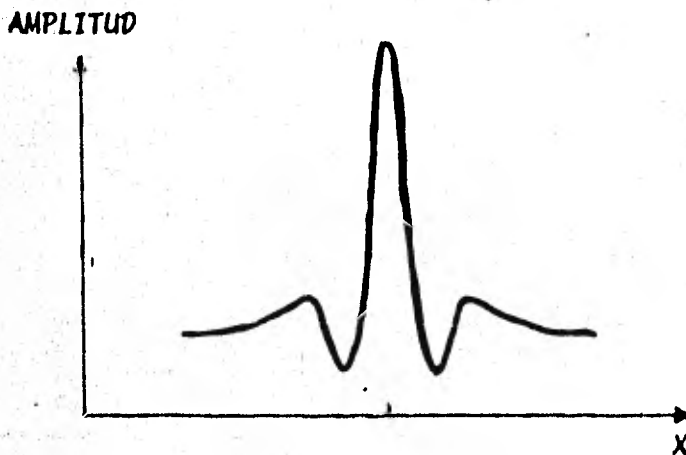


Figura 3.8.- Perfil de corte seccional de la función de dispersión de punto del ojo humano (radialmente simétrica).

3.4.- Operaciones de Ventana.- Considerando la distribución bidimensional de cada función de dispersión de punto, se dispone de un número muy grande de respuestas digitales posibles a una muestra de pixels de una imagen. Algunas de estas respuestas, que se llaman filtros, nos permiten compensar la degradación introducida en el registro o en la percepción de la imagen por una función de dispersión de punto. Dado el número infinito de filtros aplicables, es muy difícil determinar aquellos que nos ofrezcan las mejores respuestas para obtener cierta información usando métodos no iterativos. Una manera de aproximarse no iterativamente a la respuesta deseada es truncar la muestra a un tamaño moderado.

Lo anterior puede visualizarse como la multiplicación de la muestra - por una matriz que llamaremos ventana con valores definidos dentro de un área finita y cero fuera de ella, no obstante, no existe un método para encontrar el filtro "ideal" exactamente.

EXPERIMENTOS EN EL LABORATORIO FOTOGRAFICO

1.- Introducción

En los últimos años, se ha puesto a disposición de los investigadores que emplean la fotografía, una generación de nuevas emulsiones fotográficas capaces de registrar objetos más tenues; dichas emulsiones - presentan un finísimo grano y altos contraste y resolución. Mencionaremos dos productos de Kodak, la emulsión IIIa-J, sensible a las regiones azul y verde del espectro y la emulsión IIIa-F, sensible al rojo.

Conforme las técnicas de hipersensibilización, se hacen más generalmente disponibles, los usuarios de equipo modesto, cuyas imágenes son más influenciadas por la calidad del material fotográfico, usan más emulsiones de grano fino. De hecho, estos productos responden mejor a las técnicas de hipersensibilización que sus contrapartes más rápidos, pero de grano grueso. Al tener acceso a las ventajas que estos nuevos materiales confieren, el investigador encontrará algunos inconvenientes, como lo es el hecho de que al registrar una imagen que presente un amplio rango de intensidades, habrá necesariamente que sobreexponer las zonas más intensas para registrar las más tenues.

En este texto mencionaremos algunas técnicas disponibles que permiten extraer información de imágenes fotográficas trabajándolas en el cuarto oscuro.

Dos métodos simples, desarrollados en los laboratorios fotográficos del Observatorio Anglo-Australiano, aunque especialmente diseñados para emulsiones IIIa, pueden ser aplicados a cualquier negativo fotográfico. Estos métodos son complementarios, uno tiene el propósito de revelararnos las imágenes más débiles, mientras que el otro tiene la propiedad de extraer información útil de zonas aparentemente sobre-expuestas. Juntos, estos métodos exploran por primera vez todo el potencial de los materiales modernos.

De las dos técnicas mencionadas, copiado y máscara afocal, la primera se describe a continuación, y la segunda en la siguiente sección de este capítulo, ya que se trabajó extensamente para documentar este trabajo.

- **Técnica de Copiado.**- Los materiales fotográficos constituyen un medio tridimensional de registro; además del área del formato, la emulsión tiene un espesor que típicamente mide de 0.1 a 0.2 milímetros. Las imágenes más tenues se encuentran en las capas superiores de la emulsión revelada, mientras que los granos inherentes al ruido están distribuidos aleatoriamente en toda la profundidad que constituye la emulsión.

Usualmente, el copiado de placas astronómicas, se hace con rayos de luz más o menos paralelos provenientes de una fuente puntual distante o en una ampliadora. En ambos casos, el grano de todo el grueso de la emulsión se proyecta nítidamente sobre el material que se usa para hacer la copia, pero si la copia se hace bajo luz difusa, sólo los granos cercanos a la superficie (aquellos que llevan la imagen), son copiados con nitidez; aquellos ubicados más profundamente dentro de la emulsión (el fondo ruidoso), son perdidos en la difusión y el resultado neto es una amplificación de las imágenes más débiles y una reducción de ruido. Esta técnica ha propiciado el descubrimiento de muchos objetos de baja luminosidad superficial.

Entre las revelaciones más sorprendentes, se tiene una serie de capas que aparecen asociadas a galaxias elípticas y tipo SO. Otro resultado de esta técnica ha sido la detección de una eyección de material estelar desde M-89, una brillante galaxia elíptica y prominente miembro del conglomerado de galaxias en la constelación de la virgen.

2.- Técnica de la Máscara Afocal

Cualquiera de las emulsiones fotográficas modernas mencionadas previamente, una vez expuesta y revelada, puede contener un enorme rango de

densidades fotográficas. Las partes más densas pueden presentar una transmitancia menor a 10^{-4} y aún así contener información de utilidad, en condiciones normales de impresión o análisis, gran parte de esta información es perdida. Para estos casos, se ideó la técnica de la máscara afocal, que permite obtener detalle de las áreas de mayor densidad en el negativo, sin perder en la misma proporción las partes más tenues de la imagen.

Esencialmente, una máscara afocal es un positivo de contacto ligeramente desafocado, hecho con un negativo original. En el caso de películas, la magnitud del desafocado es controlado mediante la inserción de una pieza de vidrio transparente de uno o dos milímetros de espesor entre la emulsión de la imagen original y el material sobre el que se intenta hacer la copia; con placas, la base de vidrio ya viene con el original. Usando una fuente luminosa difusa, la dispersión de la luz en el espesor del vidrio provocará el registro de un positivo desafocado. Al hacer la exposición con luz difusa, se evita que el detalle fino sea registrado en la copia.

Una vez procesada, esta copia constituye la máscara desafocada; a continuación, se coloca con la parte posterior del original (del lado de la base) y se hace una copia de contacto del original, emulsión con emulsión, en la forma normal. En orden, los componentes del arreglo son, fuente luminosa, difusor, máscara afocal, negativo original y material a exponer. El propósito de la máscara afocal es filtrar las mayores variaciones de densidad en el original y producir una copia con detalle mayor en las partes más densas sin perder en la misma proporción las imágenes tenues y sin afectar el detalle fino en el positivo final.

Aunque esta técnica se ideó a partir del trabajo con materiales fotográficos con base de vidrio (placas astronómicas), puede usarse con otros formatos y bases; y como se mencionó antes, puede aplicarse a emulsiones comerciales. En las figuras 4.1 y 4.2, se esquematizan las configuraciones para tratar con placas de vidrio y con negativos convencionales, respectivamente, y se ilustran por separado, porque difie

ren entre sí. Las flechas que aparecen a la izquierda de los materiales fotográficos, indican la cara de la emulsión (arriba o abajo).

El papel negro mate es opcional en la parte (B) de ambos esquemas; es necesario cuando el material usado para el positivo es de base transparente, su propósito es impedir densidad debida a luz reflejada de la superficie que sirve de soporte, en el caso de este trabajo, la base de la ampliadora empleada. El papel negro puede omitirse si el material para el positivo es de base opaca, como lo es el papel fotográfico.

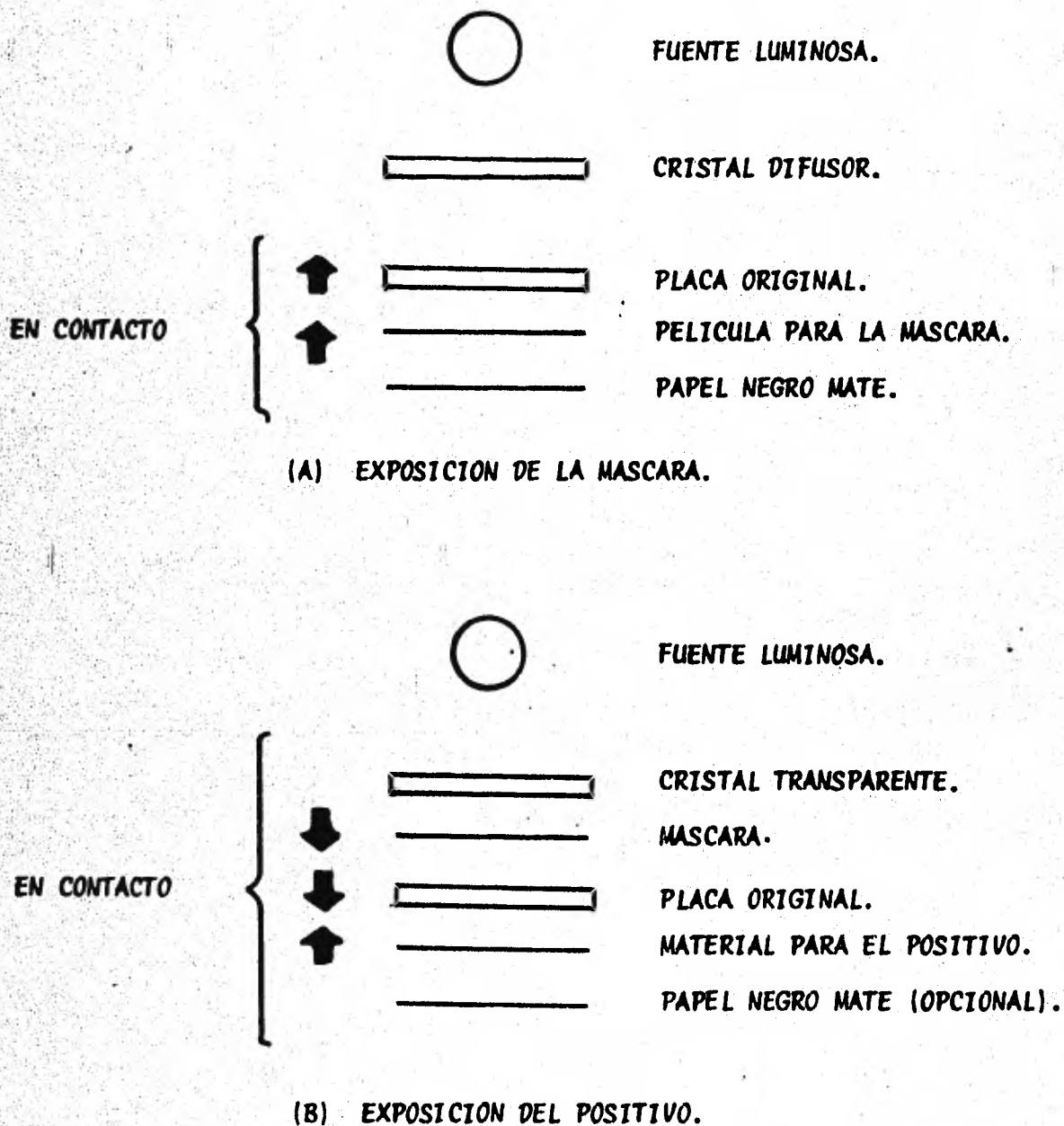
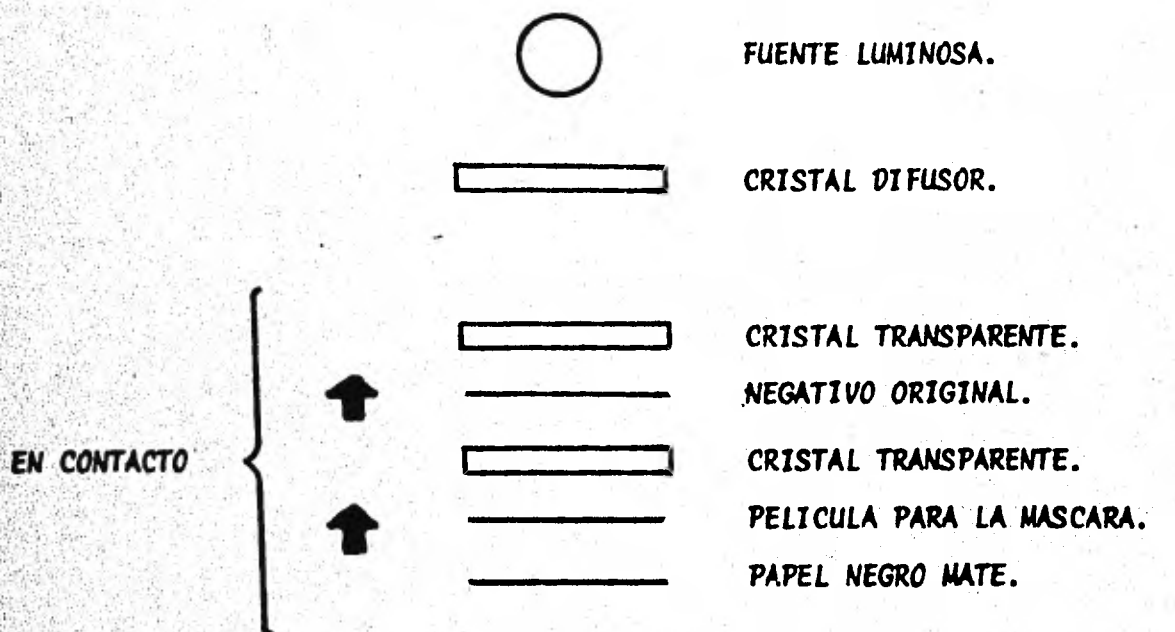
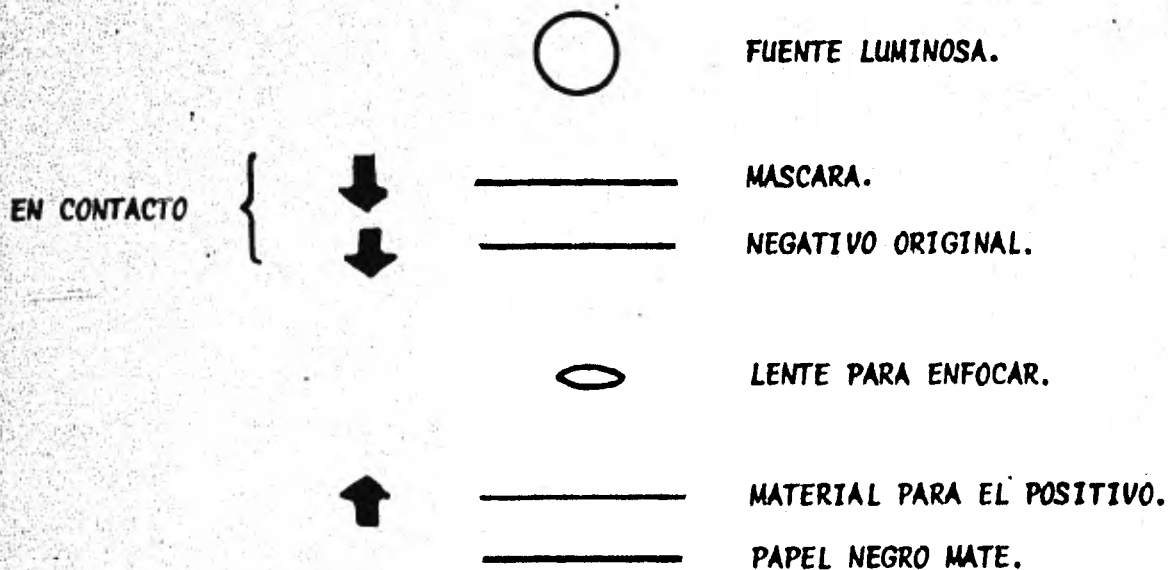


Fig. 4.1.- Configuraciones para Exposición, formato placa de vidrio.



(A) EXPOSICION DE LA MASCARA.



(B) EXPOSICION DEL POSITIVO.

Fig. 4.2.- Configuraciones para exposici3n, formato peque1o.

3.- Descripción del Equipo

Como fuente luminosa, empleamos una ampliadora marca Beseler, modelo 67CP, con las siguientes especificaciones:

- Altura máxima, portalampara: 39 1/4 pulgadas (99.7 cm.)
- Dimensiones de la Base: 35.6 cm. x 46.4 cm. x 1.9 cm.
- Lámpara: 60W. 24V. Tipo PH140.
- Voltaje: 120V. C. A.
- Lente: 50 mm. f/3.5 marca Beslar.

Para determinar los tiempos de exposición, se utilizó un cronómetro electrónico marca Beseler con las siguientes especificaciones:

- Rango: 0.1 a 11 en dos modos 1X ó 10X (0.1 a 11 ó 1 a 110 segundos).
- Voltaje: 120V. C. A.

Otros accesorios utilizados en las exposiciones, se describen a continuación:

- 3 Cristales transparentes de 82 x 82 x 1.5 milímetros.
- 1 Cristal transparente de 20.3 x 25.4 x 0.49 centímetros.
- 1 Cristal Opacificador (Difusor) de 20.3 x 25.4 x 0.15 cm.
- 1 Cristal Opacificador (Difusor) de 82 x 82 x 1.5 cm.
- Papel negro mate opaco, hojas de 8 x 10 pulgadas.
- Cinta adhesiva, masking tape
- Juego de siete filtros para control de contraste.

Los materiales fotográficos, así como el equipo y los productos químicos empleados en su proceso, se describen junto con los procedimientos en la próxima sección.

4.- Procedimientos Efectuados

Se trabajó un negativo formato de 35 mm, película Kodak Plux-X Pancromático. La imagen de este formato mide 24 x 36 milímetros. La imagen es de una niña sentada de espaldas a una ventana y se escogió por el alto contraste que presenta, ya que se tiene una gran luminosidad en la parte del negativo que registra la ventana y muy poca en la parte baja del sillón, para registrar en tonos medios las facciones de la niña, hubo que sub-exponer esta área y sobre-exponer aquella; puede verse una impresión directa del original en la fotografía 4.1.

Para facilitar las copias de contacto en este formato, se diseñó y armé el dispositivo que aparece en la Figura 4.3. Consiste en un rectángulo de 12 x 10 cm. con una abertura de 3.5 x 3.5 cm. y gulas del mismo papel pegadas con masking tape para sujetar el negativo original; se usó doblado con la abertura hacia arriba, un cristal en medio y la película a exponer se corre por la parte de abajo.

La fotografía 4.1, Impresión directa del original, se hizo con $H = 44$ cm., $f/11$, $T = 1$ seg. para describir las diferentes exposiciones, se usarán: H = separación entre la lente y el material fotográfico que se expuso; T = tiempo de exposición; f/X denota la apertura X del diafragma. Las fotografías incluidas en este capítulo fueron hechas sobre papel Kodak Polycontrast Rapid II RC, hojas de 8 x 10 pulgadas.

La fotografía 4.2 es también una impresión directa del original, con las mismas características de exposición con excepción de T , que en este caso es $T = 5.6$ seg. Esta marcada sobre-exposición muestra la información contenida en las áreas del negativo donde tenemos una alta densidad, dicha información no aparece en la fotografía 4.1, cuya exposición permite ver la información de las áreas de densidades medias que no aparece en la fotografía 4.2.

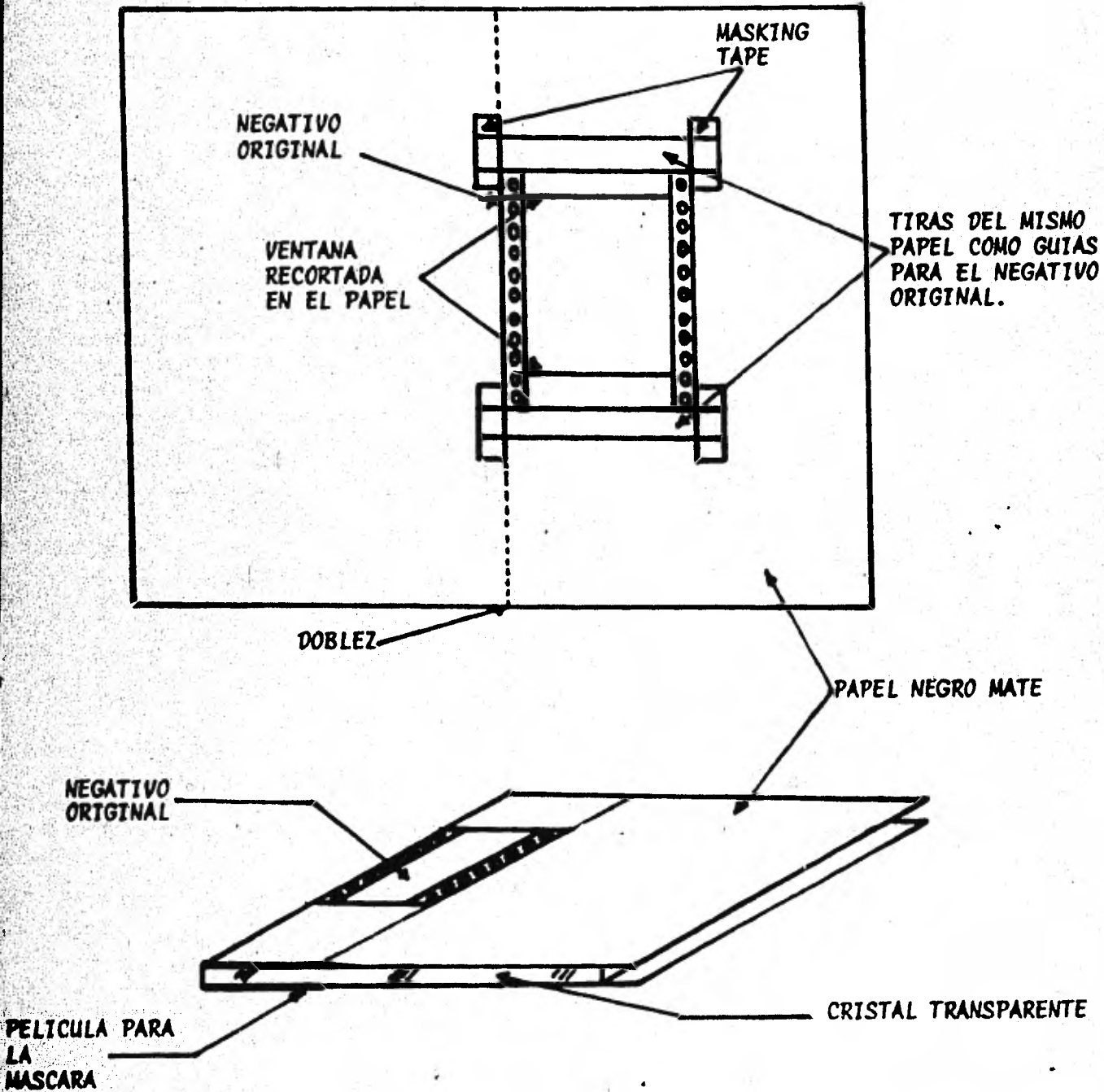


Figura 4.3.- Dispositivo para exponer la máscara afocal del formato de 35 mm. extendido (Superior) y doblado con el cristal (Inferior).

Tanto de las máscaras, como de cada una de las impresiones, se muestran aquí los mejores resultados de cada sesión, ya que se hicieron varias pruebas de exposición y contraste obtenido, buscando la dirección del resultado óptimo.

La primera máscara usada fue obtenida con una exposición de: $H = 42 \text{ cm.}$, $f/16$, $T = 0.3 \text{ seg.}$ usando, como con todas las máscaras de este formato, el dispositivo mostrado en la Figura 4.3. El revelado de esta máscara se hizo con revelador Kodak D-76, durante 5 minutos a 20°C , 20 segundos en detenedor con indicador y 6 minutos en fijador Kodak. Para las máscaras de este formato, se usó Película Kodak Technical Pan 2415.

Todas las impresiones en papel se revelaron durante un minuto en revelador Dektol; 30 segundos en detenedor con indicador y dos minutos en fijador Kodak.

La primera máscara que llamamos M1 se usó con el negativo original para hacer las siguientes impresiones:

Fotografía 4.3.- $H = 42 \text{ cm.}$, $f/11$, $T = 9 \text{ seg.}$

Fotografía 4.4.- $H = 42 \text{ cm.}$, $f/11$, $T = 20 \text{ seg.}$ más filtro de contraste variable # 1.

Los filtros de contraste variable se usan en combinación con papeles con la misma característica, como el polycontrast usado aquí, para controlar el contraste global de una impresión. El juego consta de siete filtros numerados: 1, 1 1/2, 2, 2 1/2, 3, 3 1/2, 4. El filtro de C. V. # 1 es el que más reduce el contraste y el # 4 es el que más lo aumenta.

Aunque el análisis de estas últimas impresiones muestra una mejora con respecto a la impresión original directa, se determinó que un mayor contraste en la máscara permitiría ver más en las áreas de alta

densidad sin oscurecer mayormente las áreas de densidades medias.

Se procedió a elaborar la máscara 2 (M2) con la siguiente exposición: H = 42 cm., f/11, T = 1.1 seg. Ya lavada y seca esta máscara, se - juntó al negativo original para elaborar la fotografía 4.5 con H = 42 cm., f/8, T = 14 seg.

Por último, se elaboró la máscara 3 (M3), con H = 42 cm., f/11, T = 1.7 segundos. Esta máscara se usó para hacer las siguientes impresiones en combinación con el negativo original:

Fotografía 4.6.- H = 42 cm., f/8, T = 13 seg.

Fotografía 4.7.- H = 42 cm., f/8, T = 30 seg., filtro C. V. # 1.

En estas últimas impresiones, la ganancia de información perceptible es notoriamente diferente a la impresión original directa, aunque, - desgraciadamente se rayó el negativo después de usarlo para exponer - la máscara M3, por lo que estas últimas impresiones muestran esta raya en la parte media inferior de la imagen.

5.- Resultados

En las siguientes páginas, se muestran las siete imágenes escogidas para ilustrar los procesos descritos en esta sección.



Fotografía 4.1.- Impresión Directa del Original. T=1 seg. f/11, H=44 cm.



Fotografía 4.1.1. Imagen de la Persona del Objeto 4.1.1.1, H=44 cm.



Fotografija 4.3. - Maseara M1 + Original. T=9 seg. f/11, H=42 cm.



Φωτογραφία 4.4. - Μάσκα ΜΙ - Σ. Γαλιό. 1-20 Σεπ. 3/11, Η-42 cm.



Fotografía 4.5.- Máscara M2 + Original. T=14 seg. ζ 78, H=42 cm.



Fotografía 4.6.- Máscara M3 + Original. H=42 cm. T=13 seg. f/8.



Fotografia 4.7. - Mascara M3 + Orçaimo. 1-30 seg. 4x8, H-42 cm. Filtro C.V. #1

CAPITULO V

EXPERIMENTOS EN EL COMPUTADOR

1. Descripción del Digitalizador.

El equipo usado para obtener los ejemplos de este capítulo, es un sistema lector/grabador digital de alta velocidad marca Optronics, modelo 4500. El sistema electrónico-óptico-mecánico incorpora dos cilindros rotatorios independientes y coaxiales, compartiendo circuitos, motor y ensamble selector de color.

El ensamble selector de color permite trabajar con un color determinado: neutro (blanco y negro), rojo, azul o verde. En el modo de lectura, la información sobre densidad fotográfica es convertida a forma digital y registrada en cinta magnética. En el modo de grabación, se lee información digital de una cinta y es convertida a intensidad luminosa para ser grabada directamente sobre un material fotográfico.

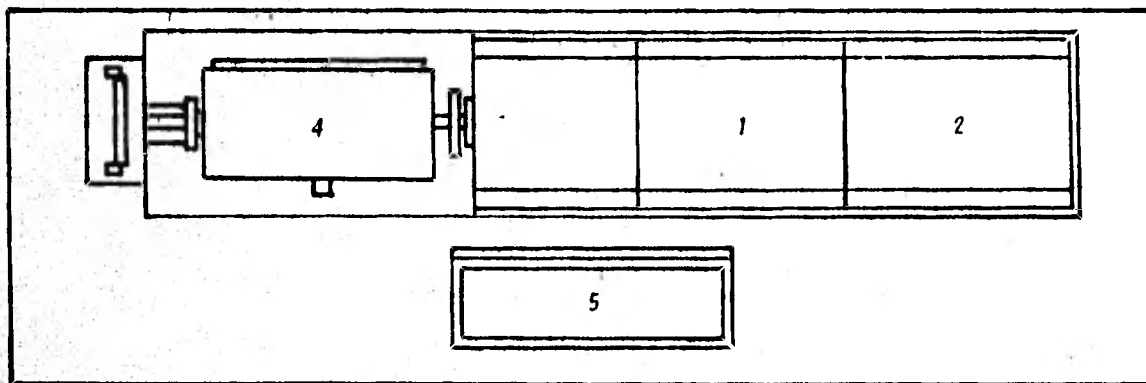
El material fotográfico a ser leído se monta sobre un orificio en un tambor cilíndrico, se selecciona un color y la densidad fotográfica registrada por un sistema óptico conforme el tambor rota. El sistema óptico cuenta con una apertura de registro, un montaje para filtros y un fotodetector que mide la cantidad de luz transmitida a través de o reflejada del material.

Al terminar una revolución del tambor, el carro óptico sufre un desplazamiento constante a lo largo de la dirección axial (eje X), repitiendo el proceso hasta cubrir el área de interés. El sistema calibra electrónicamente el valor cero a cada revolución, atravesando el haz de luz con una rendija abierta. La señal del fotodetector es amplificada y alimentada en un convertidor analógico a digital.

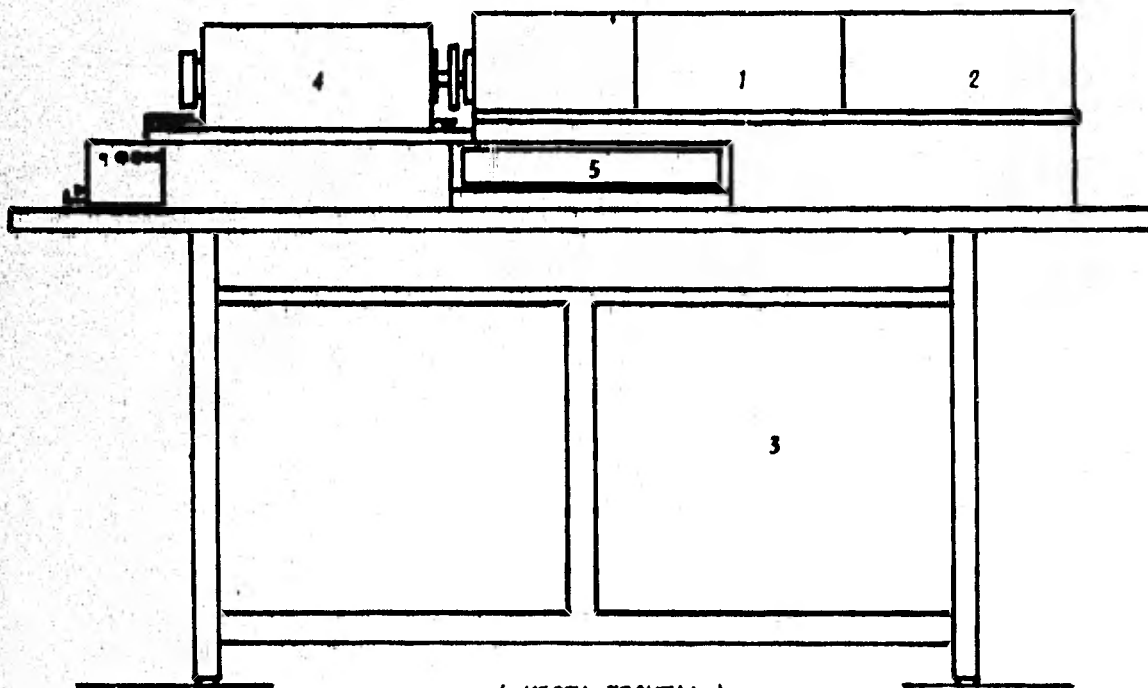
Los datos digitales se transfieren a la unidad de cinta magnética. Cada punto de densidad usa 8 BITS, permitiendo un rango de 256 niveles de gris.

En el modo de grabación, un material fotográfico sin exponer, se ajusta a la parte exterior del tambor de grabación, el que a su vez se coloca coaxialmente al tambor con el sistema detector. En este caso, - el sistema óptico consiste de una fuente luminosa, apertura variable, selector de color y lente para enfocar el haz de luz en el plano de la emulsión. El tambor de grabación, el material fotográfico y el camino óptico están dentro de un empaque que mantiene a la configuración aislada de la luz externa hasta el momento de revelar la emulsión. Una cinta con información es colocada en la unidad de cinta magnética y la información es convertida a una señal analógica por un convertidor digital a analógico.

La fuente luminosa es modulada por 256 niveles de energía. Se cuenta con un fotodetector en el camino óptico para controlar la intensidad de la fuente luminosa. Conforme el tambor rota, una secuencia de puntos adyacentes es registrada sobre la circunferencia del tambor (eje V). Después de cada revolución, el carro óptico sufre un desplazamiento constante a lo largo de la dirección axial (eje X), repitiéndose el proceso hasta que el formato deseado se completa sobre el material fotográfico.



(VISTA SUPERIOR)



(VISTA FRONTAL)

Figura 5.1.- Aspecto Exterior del Digitalizador Optronics C-4500.

- 1.- Unidad Lectora; 2.- Motor; 3.- Interfase;
4.- Unidad de Grabación; 5.- Controles.

1.1.- Especificaciones del Sistema.

<i>Formato Digital</i>	- 8 BITS por lectura (1 BYTE)
<i>Formato Fotográfico</i>	- 10 x 10 pulgadas (25.4 x 25.4 cm)
<i>Resolución</i>	- 50 micrones (50X 10 ⁻⁶ M.)
<i>Tamaño de Apertura</i>	- 50 micrones.
<i>Escala de Grises</i>	- 256 niveles.
<i>Requerimientos Eléctricos</i>	- 110 Volts. C.A. 60 Hz. 10 Amps. ó 220 Volts. C.A. 50/60 Hz. 5 Amps.
<i>Dimensiones</i>	- 56" (142 cm) de largo, por 23" (58 cm) de fondo por 42" (107 cm) de alto.

Las figuras 5.2 y 5.3 muestran esquemas de los sistemas ópticos de grabación y lectura, respectivamente.

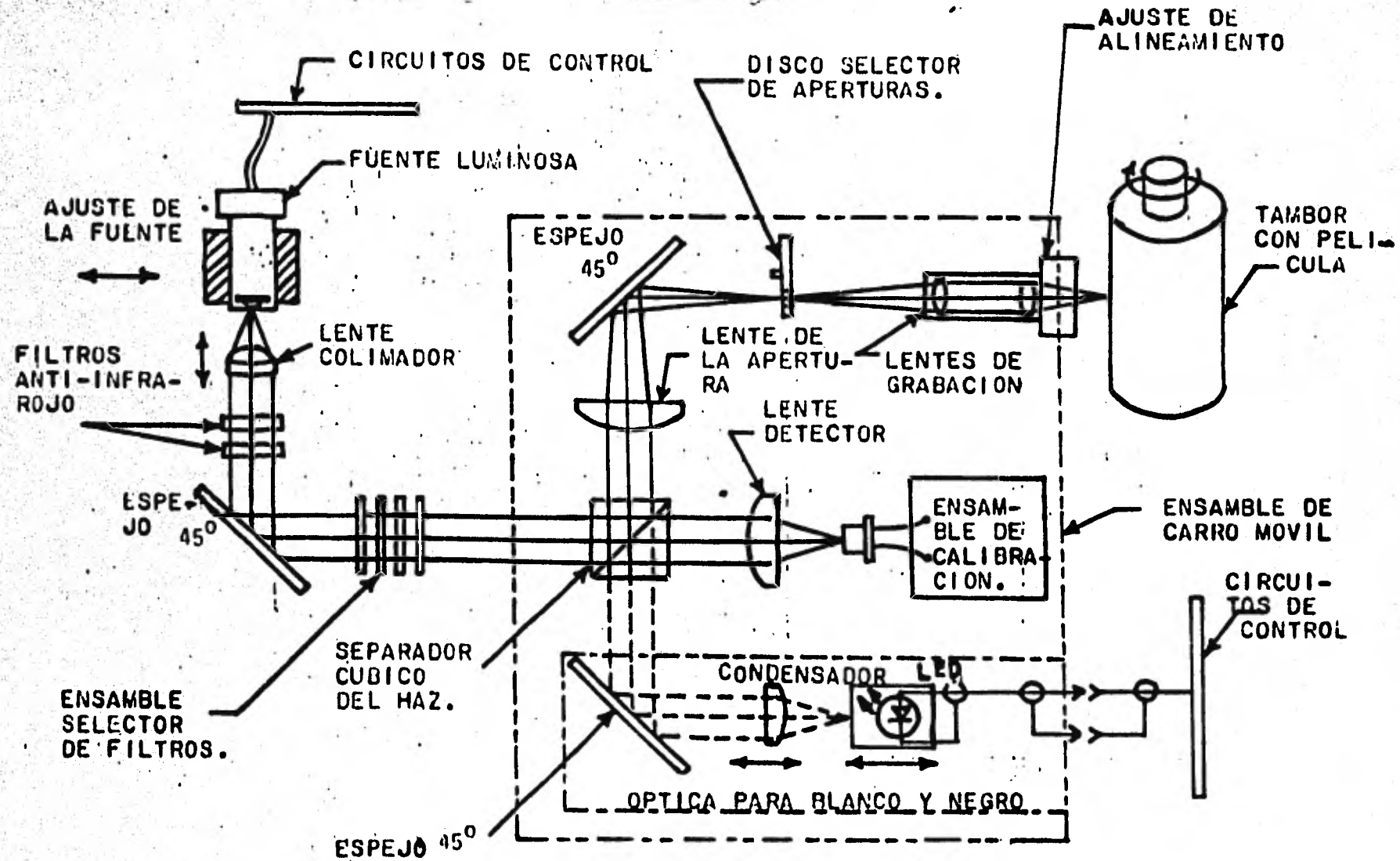


FIGURA 5.2.- SISTEMA OPTICO DE GRABACION.

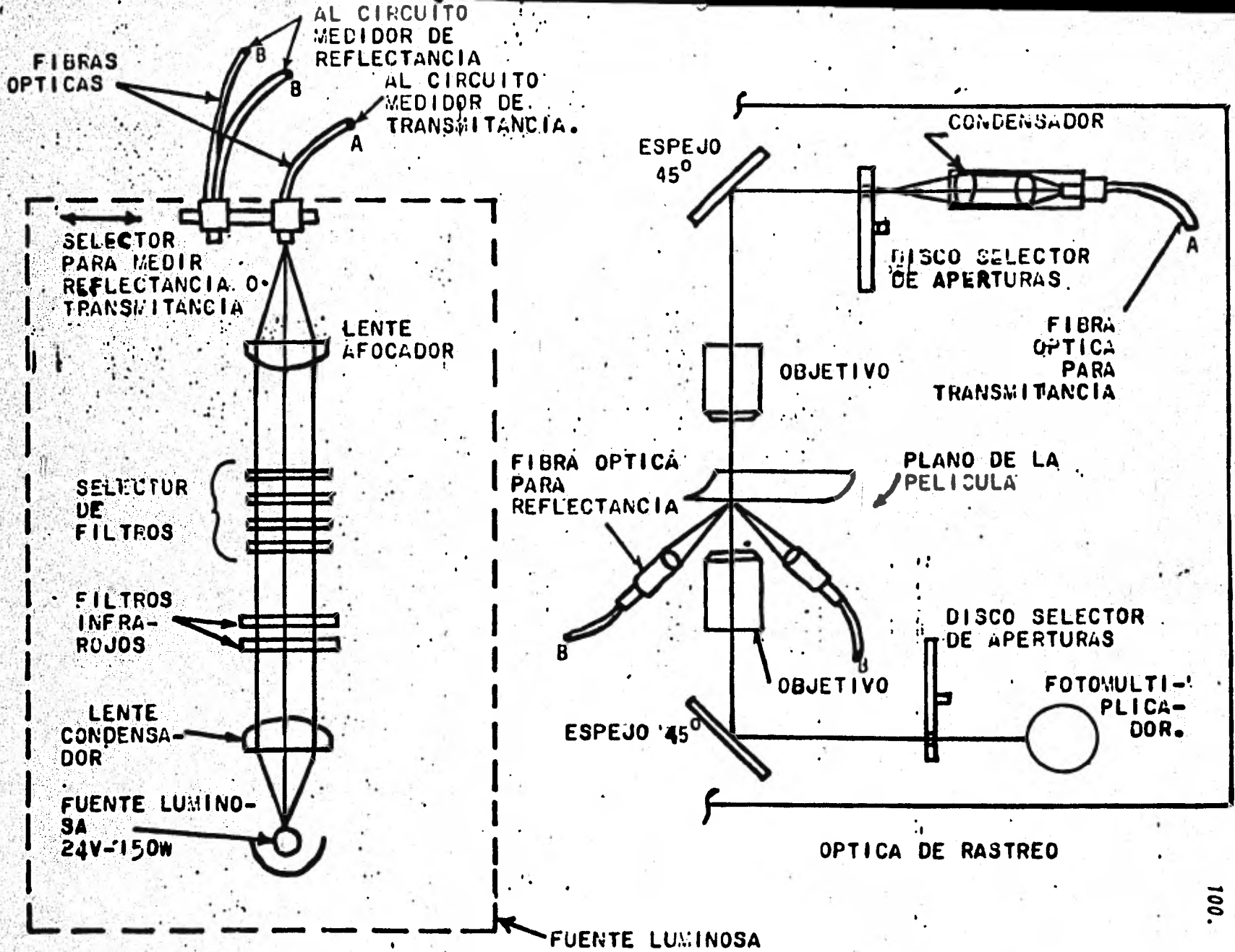


FIGURA 5.3.- SISTEMA OPTICO DE LECTURA.

2.- Descripción del Computador.

El computador empleado para los procesos de la información, en las imágenes que aparecen en este trabajo, es un procesador IBM 4331, modelo K02, del que se muestra un esquema de configuración en la Figura 5.4.

2.1.- Especificaciones del Sistema:

Memoria Real	- 2 MEGABYTES (2,097,152 BYTES).
Sistema Operativo	- IBM DOS/VSE REL. 1.0.
Memoria Virtual	- 16 MEGABYTES (16,777,216 BYTES).
Capacidad de Almacenamiento en disco	- 1650 MEGABYTES (tres unidades dobles IBM 3370 con 550 MB c/u).
Unidades de Cinta	- 2 IBM 3420 de doble densidad
Impresora	- IBM 3203-5 (1100 líneas por minuto).

Este equipo pertenece a las instalaciones de la empresa Kodak Mexicana, S. A., donde el autor presta sus servicios.

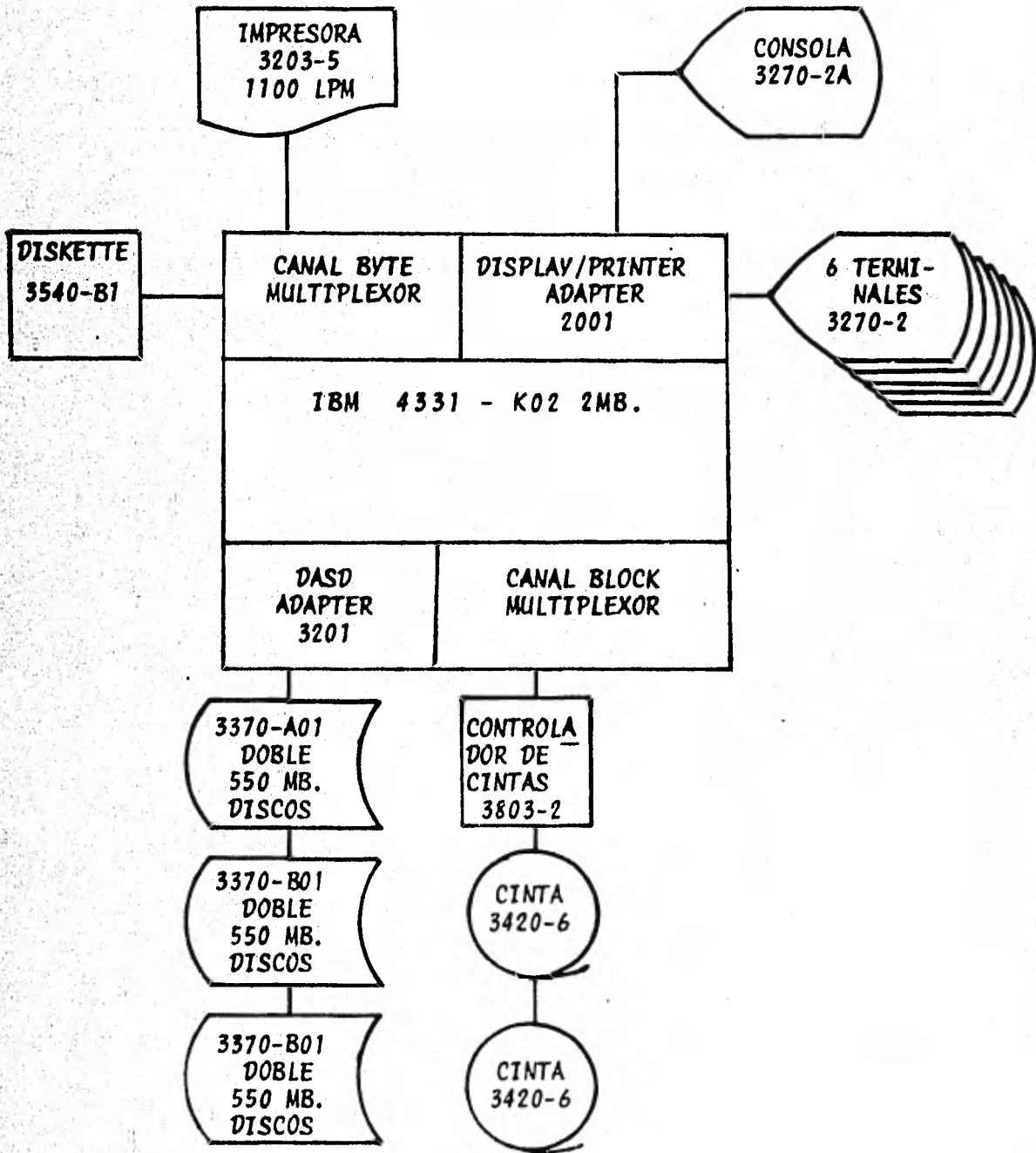


Figura 5.4.- Configuración del Computador Empleado.

3.- Procedimientos Efectuados.

Se digitalizó el negativo de la niña sentada de espalda a la ventana, descrito en el capítulo anterior, aunque en las especificaciones del digitalizador empleado (sección 1 de este capítulo) se especifica que el formato es de 10 x 10 pulgadas, aquí aclaramos que se trata del formato máximo y que el aparato acepta formatos menores.

Se entregó el negativo a personal usuario del equipo digitalizador, instalado en el Plan Nacional Hidráulico de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, obteniendo días más tarde la información digitalizada - grabada en una cinta que se entregó previamente. El autor de este trabajo no participó directamente en la digitalización, pero se pueden deducir aspectos de la calibración del aparato, por la forma en que la información venía presentada.

El área del cilindro rastreada fue de 3.4 x 4.0 cm., ya que se registraron los márgenes de la imagen mostrando las perforaciones para el transporte de película en la cámara fotográfica y un poco más que los límites en la otra dimensión de la imagen.

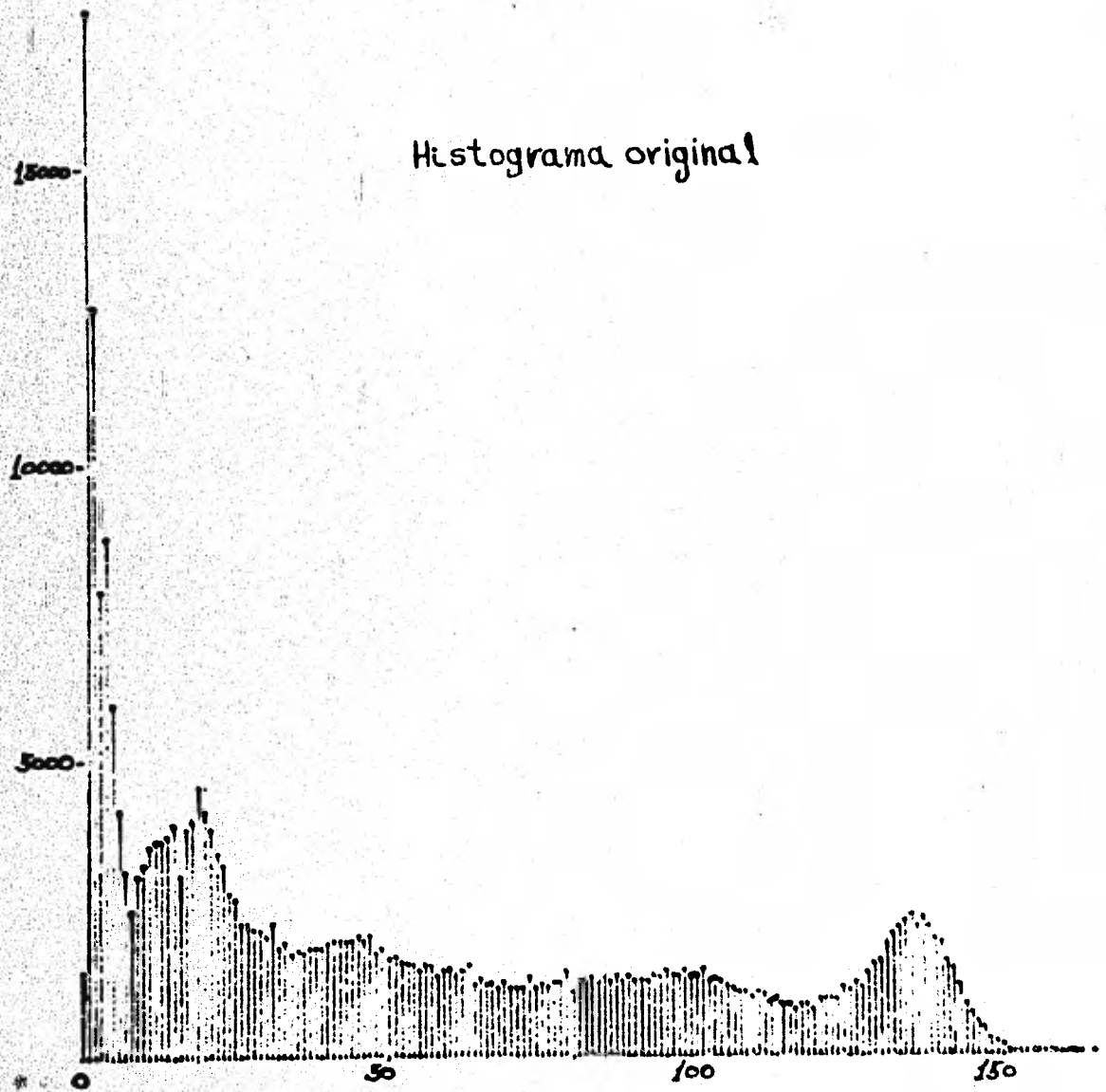
Se "recortó" la imagen quitándole los márgenes, esto se hizo copiando la información contenida en la cinta, sobre un área de disco magnético e ignorando unos cuantos BYTES del principio y del final de cada registro de la cinta, así como omitiendo unos cuantos de los primeros y de los últimos registros, de manera que la información original sobre la que finalmente se efectuaron los trabajos que a continuación se describen, consistió de 664 registros con 455 BYTES de longitud cada uno, lo que a un BYTE por pixel nos representa una imagen de 302,120 unidades de información.

La resolución usada fue de 50 micrones, la menor disponible entre las instaladas en el aparato; considerando esto y las cifras expuestas en el párrafo anterior, se trabajó sobre un área de 22.75 x 33.20 mm. o sea, 87% del área útil original de 24 x 36 mm.

El histograma de esta imagen original se muestra en la página siguiente, y la información para representarlo se obtuvo con el algoritmo del histograma descrito más adelante. El valor en la escala de grises (abscisa), es proporcional a la transmitancia de cada punto, por lo que si se digitalizó un negativo, los valores mayores corresponden a las partes con baja densidad fotográfica u oscuros en el positivo. De un primer análisis al histograma, se confirma que la imagen usada presente más áreas claras que oscuras, por lo que es de esperarse una mayor incidencia de valores cero o cercanos al cero, que de valores mayores. Consideramos la digitalización aceptable y propicia para tratamiento.

20000 ↑ Incidencia

Histograma original



Nivel de gris → 105.
100

El algoritmo de aplicación de filtro, que como su nombre lo dice, se utilizó para transformar la información original a una imagen que llamamos filtrada y que está definida por el conjunto de pixels P_{ij} elementos de la imagen P tal que

$$P = AG = (\alpha I - \text{AVG}_{m^2-1}) G$$

donde:

I = Operador identidad

G = imagen original.

m = número non; magnitud, en número de pixels del lado de la ventana aplicada.

AVG_{m^2-1} = promedio con pesos relativos de todos los puntos dentro de la ventana, con excepción del central, δ :

$$\text{AVG}_M G = \left[\sum_{\mu=1}^M w_{\mu} \right]^{-1} \sum_{\mu=1}^M w_{\mu} \cdot G_{\mu} \dots \quad (5.1)$$

con: $M = m^2 - 1$ ($m > 2$).

w_{μ} = factores de peso relativo.

$\alpha \in [1, 2]$

Con $\alpha=1$, la transformación representa un Laplaciano generalizado, $\alpha=2$ corresponde a la suma del caso $\alpha=1$ y la imagen original.

Para el algoritmo fijamos $m=7$ por considerar a la matriz de 7×7 , razonablemente representativa de la influencia de los pixels vecinos sobre uno determinado.

Los elementos w_{μ} , representan la magnitud y signo de la influencia mencionada en el párrafo anterior, en función de la posición del elemento - en la matriz con relación al pixel central.

En la página 108 se muestra un esquema de la "geometría" de una matriz de 7x7 elementos, en donde las pixels con valores iguales han sido unidos por un círculo. El punto de referencia empleado es el centro geométrico del área que el pixel representa. Se obtienen así nueve círculos alrededor del origen, la magnitud del radio (en unidades de distancia entre pixels) de cada uno de los círculos se muestra en la misma figura.

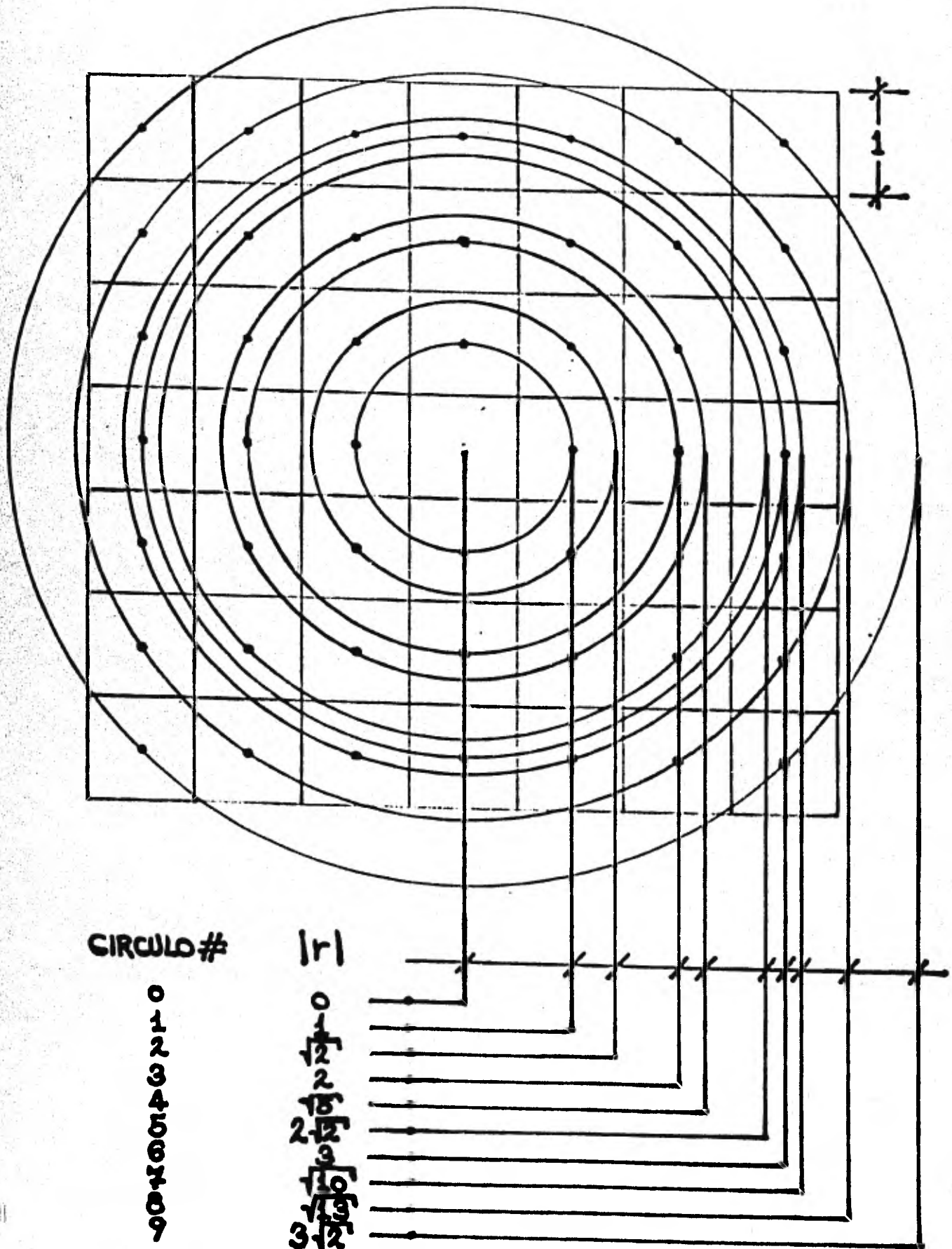


Figura 5.5.- Geometría de la Ventana-de 7 x 7.

Se aplicó la fórmula 5.1 a la imagen original y se variaron el coeficiente α y la matriz W en diferentes procesos, para observar los efectos de estas variaciones en una representación de la imagen filtrada.

- Variación de W .- Para observar el efecto del cambio de W sobre la representación de la imagen filtrada, se fijó el coeficiente α en 1.5 y se escogieron las 6 matrices que se muestran en la página siguiente, para aplicarse con el algoritmo "Aplicación del Filtro" que se describe en la siguiente sección.

En todas las matrices escogidas, dimensión 7×7 , se hizo igual a cero el elemento central porque ya influye en el resultado de la fórmula 5.1, al estar multiplicándose por el coeficiente α en el primer término de la fórmula. A continuación se ofrecen algunos comentarios sobre estas matrices o filtros.

El filtro 1, se hizo con una matriz en la que todos sus elementos son iguales a la unidad con excepción del central, que es igual a cero.

Para el filtro 2, se usó una matriz en la que el elemento tiene un valor $2^{(9-i)}$, donde i es el número del círculo que pasa por el elemento según la figura 5.5.

En el filtro 3, se utilizó una matriz en la que cada elemento tiene un valor $K2^{8K}$, con $K(r) = \frac{1}{3\sqrt{2}} - \frac{r}{3\sqrt{2}}$, r es el radio del círculo que pasa por el elemento.

En el filtro 4, el valor de cada elemento está dado por Ke^{2K} , con $K(r)$ definida igual que en el filtro anterior.

El filtro 5 es igual al filtro 2, pero cada elemento tiene un valor menor en ocho unidades que su análogo en el filtro 2. Esto arroja valores negativos para algunos elementos.

1...5...10...15...20...25...30...35...40...45...50...55...60...65...70...75.

LAS CANTIDADES ESTAN EN REPRESENTACION DECIMAL.

FILTRO 1	1	1	1	1	1	1	1	*****
	1	1	1	1	1	1	1	*
	1	1	1	1	1	1	1	* TABLA CON LOS 49 PESOS
	1	1	1	0	1	1	1	* RELATIVOS FILTRO 1
	1	1	1	1	1	1	1	*
	1	1	1	1	1	1	1	*
	1	1	1	1	1	1	1	*****
FILTRO 2	1	2	4	8	4	2	1	*****
	2	16	32	64	32	16	2	*
	4	32	128	256	128	32	4	* TABLA CON LOS 49 PESOS
	8	64	256	0	256	64	8	* RELATIVOS FILTRO 2
	4	32	128	256	128	32	4	*
	2	16	32	64	32	16	2	*
	1	2	4	8	4	2	1	*****
FILTRO 3	0	4	11	15	11	4	0	*****
	4	21	65	99	65	21	4	*
	11	65	269	530	269	65	11	* TABLA CON LOS 49 PESOS
	15	99	530	0	530	99	15	* RELATIVOS FILTRO 3
	11	65	269	530	269	65	11	*
	4	21	65	99	65	21	4	*
	0	4	11	15	11	4	0	*****
FILTRO 4	0	23	69	93	69	23	0	*****
	23	124	280	369	280	124	23	*
	69	280	693	1048	693	280	69	* TABLA CON LOS 49 PESOS
	93	369	1048	0	1048	369	93	* RELATIVOS FILTRO 4
	69	280	693	1048	693	280	69	*
	23	124	280	369	280	124	23	*
	0	23	69	93	69	23	0	*****
FILTRO 5	-7	-6	-4	0	-4	-6	-7	*****
	-6	8	24	56	24	8	-6	*
	-4	24	120	248	120	24	-4	* TABLA CON LOS 49 PESOS
	0	56	248	0	248	56	0	* RELATIVOS FILTRO 5
	-4	24	120	248	120	24	-4	*
	-6	8	24	56	24	8	-6	*
	-7	-6	-4	0	-4	-6	-7	*****
FILTRO 6	13	-25	-47	-51	-47	-25	13	*****
	-25	-50	-7	30	-7	-50	-25	*
	-47	-7	157	256	157	-7	-47	* TABLA CON LOS 49 PESOS
	-51	30	256	0	256	30	-51	* RELATIVOS FILTRO 6
	-47	-7	157	256	157	-7	-47	*
	-25	-50	-7	30	-7	-50	-25	*
	13	-25	-47	-51	-47	-25	13	*****

El filtro b tiene sus elementos iguales a $(C/ar)J_1(ar)$, donde J_1 es la función de Bessel de primer tipo de orden uno y las constantes $C = 773.7358$ y $a = 1.7539$, r es el radio del círculo que pasa por el elemento.

- Variación de α .- Para observar los efectos que causa la variación del coeficiente α , se fijó W en la matriz del filtro 2, y se efectuó un proceso con cada uno de los siguientes 4 valores para α : 1.0, 1.4, 1.6 y 2.0.

3.1.- Programas.- Para la obtención de cada una de las imágenes filtradas, se usaron 4 programas principales, que son:

- Aplicación del Filtro.
- Obtención del Rango.
- Obtención del Histograma.
- Impresión de la Imagen.

Los cuales se describen a continuación:

3.1.1.- Aplicación del Filtro.- Este programa lee la imagen original como datos de entrada de un disco y aplica la fórmula 5.1 para generar una imagen filtrada como datos de salida en un disco; la imagen de salida es necesariamente menor que la de entrada, por lo menos en 6 renglones y 6 columnas, ya que el primer pixel al que se puede aplicar el filtro es el de coordenadas (4,4) y deben excluirse los elementos de columnas primera, segunda y tercera, así como última, penúltima y antepenúltima. En nuestro caso, considerando que el resultado de la fórmula 5.5 puede ser mayor en magnitud a 255 y que puede ser negativo, se usó una unidad de información de dos BYTES de longitud, aunque la imagen original usa un BYTE por pixel. Por lo anterior, siendo la imagen original de 664 renglones de 455 elementos cada uno, este programa genera una imagen filtrada de 658 renglones de 449 elementos cada uno (898 BYTES por registro).

En las páginas 114 a 117 se muestra una impresión de los estatutos - del programa en ensamblador y en la página 118 se muestra un diagrama de bloque de la lógica que gobierna este algoritmo. El programa permite variar la matriz W directamente, sustituyendo los elementos de la matriz que se quiere usar en la constante W (Estatutos 195 a 201).

Nótese que los valores se representan en el sistema hexadecimal; para la impresión del programa que se incluye como ejemplo, se utilizó la versión del algoritmo que usa el filtro 2 y un coeficiente $\alpha = 1.5$, nótese la diferencia de la representación hexadecimal de la matriz - en la página 117 con la representación decimal de la página 110. Esto se hizo porque proporcionando la matriz en valores hexadecimales, se evita la necesidad de efectuar una conversión dentro del programa, ya que en esta forma, el assembler puede trabajar estas cantidades directamente.

El coeficiente α se proporciona en forma de un quebrado, cuyo numerador aparece en el valor constante que se asigna al registro general 3 en el estatuto 85 y aparece en los comentarios de los estatutos 85 a, 88, 107, 108 y 123 (en el ejemplo, es un tres). El denominador se asigna al registro 3 en el estatuto 109, y se multiplica por el registro 6 en el estatuto 103, aparece en los comentarios de los estatutos 103, 105, 106, 108, 109, 110 y 123 (en el ejemplo, es un dos). Tenemos que $\alpha = 3/2 = 1.5$ en la impresión que se incluye como ejemplo.

3.1.2.- Obtención del rango.- Este programa revisa cada pixel de la matriz, con el propósito de determinar cuál es el menor valor, así como cuál es el mayor. Este programa puede ejecutarse una vez terminada satisfactoriamente la ejecución del programa de aplicación del filtro. Lee como datos de entrada la matriz generada por la aplicación y genera una página de impresión con los valores máximo y mínimo encontrados. Esta información es necesaria antes de aplicar el progra-

ma que nos da el histograma, ya que nos dice si el rango previsto para el histograma será suficiente para contener todos los valores de la imagen filtrada; además, el histograma y la impresión requieren de datos positivos para trabajar y si el menor valor es negativo, sabemos cuántas unidades debemos recorrer el origen en estos algoritmos, con esta finalidad, sin perder información alguna.

En las páginas 119 a 121 se muestra una impresión del programa para la obtención del rango y en la página 122, un diagrama de bloque con la lógica que gobierna este algoritmo. Se trata de una lógica de comparaciones sucesivas y una impresión para los valores máximo y mínimo finales, así como de los máximos y mínimos provisionales que se van detectando conforme se rastrea la imagen.

Este programa considera únicamente 445 de los 449 elementos en los 658 renglones; este pequeño corte fue incluido para reducir un poco el área de interés y minimizar los tiempos de proceso y el tamaño de la impresión a 292,810 elementos.

1...5...10...15...20...25...30...35...40...45...50...55...60...65...70...75.

```

* 55 JOB JNM=OPCFIL1,DISP=0,CLASS=0,USER='J. SIFUENTES',PRI=5          001
// JOB FILTRO COMPILA Y EJECUTA                                         002
// OPTION LINK,LOG                                                       003
  ASSGN SYSCIB,UA                                                       004
  // ASSGN SYS011,221                                                    005
  // ASSGN SYS012,221                                                    006
  // DLBL DISKIN,'J.SIFUENTES.3.NO.BORRAR',99/365,SD                   007
  // EXTENT SYS011,SYSWK1,1,0,160542,1000                               008
  // DLBL DISKOUT,'J.SIFUENTES.4.NO.BCMKAR',99/365,SD                 009
  // EXTENT SYS012,SYSWK1,1,0,161652,2120                               010
  // EXEC ASSEMBLY                                                       011
    PRINT NOGEN                                                         012
PTCC   START 0                                                           013
LIST   DTFPR  BLKSIZE=132,CTLCHR=YES,DEVADDR=SYSLST,                   X014
        DEVICE=PRT1,                                                    X015
        PRINTV=YES,WORKA=YES,RECFCRM=FIXUNG,IOAREAL=SALIMP             016
DISKIN  DTFSD  BLKSIZE=455,DEVADDR=SYS011,EOFADDR=FIN,IOAREAL=RIN,     X017
        DEVICE=FBA,WORKA=YES                                           018
DISKOUT DTFSD  BLKSIZE=898,DEVADDR=SYS012,IOAREAL=ROUT,                X019
        DEVICE=FBA,WORKA=YES,TYPEFLE=OUTPUT                             020
*                                                                           021
*   IGUALAR REGISTROS GENERALES                                         022
*                                                                           023
R2     EQU    2                                                           024
R3     EQU    3                                                           025
R4     EQU    4                                                           026
R5     EQU    5                                                           027
R6     EQU    6                                                           028
R7     EQU    7                                                           029
AD010  BALR   9,0                                                         030
        USING  9,9,10                                                    031
HEHE   L      10,BASE                                                    032
        B      INICIO                                                    033
*                                                                           034
BASE   DC     A(HERE+4096)                                               035
SALIMP DS     CL132                                                       036
LINEA  DC     CL132° °                                                 037
RIN    DS     CL455                                                       038
RINW   DS     CL455                                                       039
ROUTW  DS     CL898                                                       040
ROUT   DS     CL898                                                       041
*                                                                           042
INICIO OPEN   LIST                                                       043
        OPEN  DISKOUT                                                    044
        OPEN  DISKIN                                                      045
        LA    R5,T                                                         046
LECTI  GET    DISKIN,RINW                                                 047
        MVC   0(256,R5),RINW                                             048
        A     R5,=F'256°                                                 049
        MVC   0(199,R5),RINW+256°                                        050
        A     R5,=F'199°                                                 051
        LM   R2,=M'1°                                                    052
        AH   R2,M                                                         053
        STM  R2,M                                                         054
        LM  R2,=M'7°                                                    055
        CH  R2,M                                                         056
        *   LECTURA DE LOS SIETE PRIMEROS
        *   RENGLONES DE LA IMAGEN
    
```

1...5...10...15...20...25...30...35...40...45...50...55...60...65...70...75.

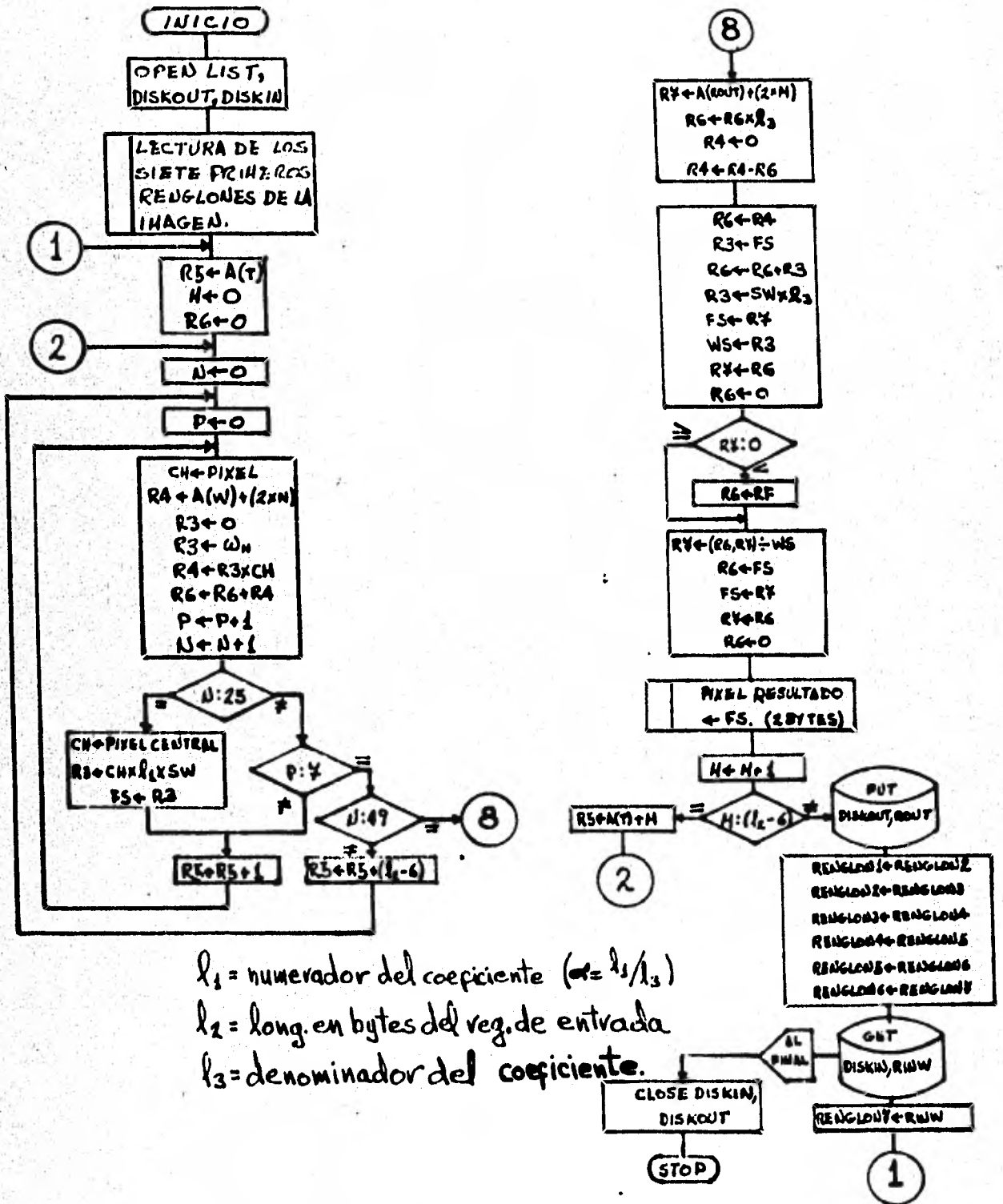
RUT1	BNE	LECTI	*****	057
	LA	R5,T	R5=A&T)	058
	MVC	M&2),HO	M=0	059
	L	R6,RO	R6=0	060
RUT2	MVC	N&2),HO	N=0	061
RUT3	MVC	P&2),HO	P=0	062
RUT4	MVC	CH+1&1),O&R5)	CH=PIXEL	063
	LA	R4,M	R4=A&W)	064
	AH	R4,N		065
	AH	R4,N	R4=A&PESO DEL ENESIMO PIXEL)	066
	L	R3,RO	R3=0	067
	LH	R3,O&R4)	R3=PESO DEL PIXEL ENESIMO	068
	S	R3,=F°0°	RESTA 0 DEL PESO ENESIMO	071
	LR	R4,R3	R4=PESO DEL PIXEL ENESIMO=M	072
	MH	R4,CH	R4=WXP ENESIMO	073
	AR	R6,R4	R6=SIGMA WP°S	074
RUT4B	LH	R2,=H°1°	*****	075
	AH	R2,P	* P=P+1	076
	STH	R2,P	*****	077
	LH	R2,=H°1°	*****	078
	AH	R2,N	* N=N+1	079
	STH	R2,N	*****	080
	CH	R2,=H°25°	COMPARA N CON 25	081
	BNE	RUT5		082
	MVC	CH+1&1),O&R5)	CH=PC=PIXEL CENTRAL	083
	L	R3,RO	R3=0	084
	LH	R3,=H°3°	R3=3	085
	MH	R3,CH	R3=3XPC	086
	MH	R3,SW	R3=3XPCXSW	087
	ST	R3,FS	FS=R3	088
	B	RUT6		089
RUT5	LH	R2,=H°7°		090
	CH	R2,P	COMPARA P CON 7	091
	BE	RUT7		092
RUT6	A	R5,=F°1°	R5=R5+1	093
	B	RUT4		094
RUT7	LH	R2,=H°49°		095
	CH	R2,N	COMPARA N CON 49	096
	BE	RUT8		097
	A	R5,=F°449°	R5=R5+8455-6) 1ER. PIXEL SIG. RENGLON	098
	B	RUT3		099
RUT8	LA	A7,ROUT	R7=A&ROUT)	100
	AH	R7,M		101
	AH	R7,M	R7=A&SIG. PIXEL DE SALIDA)	102
	MH	R6,=H°2°	R6=2X&SIGMA WP°S)	103
	L	R4,RO	R4=0	104
	SR	R4,R6	R4=-2X&SIGMA WP°S)	105
	LR	R6,R4	R6=-2X&SIGMA WP°S)	106
	L	R3,FS	R3=3XPCXSW	107
	AR	R6,R3	R6=3XPCXSW-2X&SIGMA WP°S)	108
	L	R3,=F°2°	R3=2	109
	MH	R3,SW	R3=2XSW	110
	ST	R7,FS	GUARDA R7 EN FS	111
	STH	R3,M&+2	M&=2XSW	112
	LR	A7,R6	R7=R6	113
	L	R6,RO	R6=0	114

1...5...10...15...20...25...30...35...40...45...50...55...60...65...70...75.

	C	R7,RO	CCMPARA R7 CON CERO	115
	BNL	DIVIS		116
	L	R6,RI		117
DIVIS	U	R6,RS	EFFECTUA LA DIVISION.	118
	L	R6,FS	GUARDA FS 2EX R7 EN R6I	119
	ST	R7,FS	GUARDA R7 EN FS	120
	LR	R7,R6	RECUPERA R7 ORIGINAL	121
	L	R6,RO	R6=0	122
	MVC	042,R7),FS*2	CARGA MEDIA PALABRA DEL COCIENTE	123
	LH	R2,=H*1°	FS=81/2XSW)83XPCXSW-2X8SIGMA WP°S))	124
	AM	R2,M	*****	125
	STM	R2,M	* M=M+1	126
	CM	R2,=H*449°	*****	127
	BE	RUT9	CCMPARA M CON 449	128
	LA	R5,T		129
	AM	R5,M	R5=A&T)	130
	B	RUT2	R5=A&T)+M	131
RUT9	PUT	DISKOUT,ROUT		132
	LA	R5,T	GRABA RENGLON DE SALIDA	133
	LA	R2,T	R5=A&T)	134
	A	R2,=F*455°	R2=A&T)	135
	MVC	08256,R5),08R2)	R2=A&T)+455	136
	A	R5,=F*256°	*****	137
	A	R2,=F*256°	*	138
	MVC	08199,R5),08R2)	* CORRIMIENTO DEL	139
	A	R5,=F*199°	* PRIMER RENGLON	140
	A	R2,=F*199°	*	141
	MVC	08256,R5),08R2)	*****	142
	A	R5,=F*256°	*****	143
	A	R2,=F*256°	*	144
	MVC	08199,R5),08R2)	* CORRIMIENTO DEL	145
	A	R5,=F*199°	* SEGUNDO RENGLON	146
	A	R2,=F*199°	*	147
	MVC	08256,R5),08R2)	*****	148
	A	R5,=F*256°	*****	149
	A	R2,=F*256°	*	150
	MVC	08199,R5),08R2)	* CORRIMIENTO DEL	151
	A	R5,=F*199°	* TERCER RENGLON	152
	A	R2,=F*199°	*	153
	MVC	08256,R5),08R2)	*****	154
	A	R5,=F*256°	*****	155
	A	R2,=F*256°	*	156
	MVC	08199,R5),08R2)	* CORRIMIENTO DEL	157
	A	R5,=F*199°	* CUARTO RENGLON	158
	A	R2,=F*199°	*	159
	MVC	08256,R5),08R2)	*****	160
	A	R5,=F*256°	*****	161
	A	R2,=F*256°	*	162
	MVC	08199,R5),08R2)	* CORRIMIENTO DEL	163
	A	R5,=F*199°	* QUINTO RENGLON	164
	A	R2,=F*199°	*	165
	MVC	08256,R5),08R2)	*****	166
	A	R5,=F*256°	*****	167
	A	R2,=F*256°	*	168
	MVC	08199,R5),08R2)	* CORRIMIENTO DEL	169
			* SEXTO RENGLON	170

1...5...10...15...20...25...30...35...40...45...50...55...60...65...70...75.

	A	R5,=F'199'	*		171
	A	R2,=F'199'	*****		172
	GET	DISKIN,RINW	*	LEE UN RENGLON NUEVO	173
	MVC	O%256,R5),RINW	*****		174
	A	R5,=F'256'	*	INSERTA EL REGISTRO RECIEN LEIDO	175
	MVC	O%199,R5),RINW+256	*	EN EL FINAL DE LA TABLA T	176
	B	RUT1	*****		177
FIN	CLOSE	DISKIN	*	CIERRA ARCHIVO DE ENTRADA	178
	CLOSE	DISKOUT	*	CIERRA ARCHIVO DE SALIDA	179
	ECJ		*	* * * *	180
	DC	H'0'	*****		181
M	DC	H'0'	*		182
RO	DC	H'0'	*		183
HO	DC	H'0'	*	CONTADORES E INDICES	184
MS	DC	F'0'	*		185
CH	DC	X'0000'	*		186
FS	DS	F	*		187
RF	DC	X'FFFFFFFF'	*		188
P	DC	H'0'	*****		189
SW	DC	H'2196'	*	SUMA DE LOS 49 PESOS RELATIVOS	190
T	DS	CL1024	*****		191
	DS	CL1024	*	TABLA	192
	DS	CL1024	*	45X7 RENGLONES	193
	DS	CL114	*****		194
M	DC	X'0001000200040008000400020001'	*****		195
	DC	X'0002001000200040002000100002'	*		196
	DC	X'0004002000800100008000200004'	*	TABLA CON LOS 49	197
	DC	X'0008004001000000010000400008'	*	PESOS RELATIVOS	198
	DC	X'0004002000800100008000200004'	*		199
	DC	X'0002001000200040002000100002'	*		200
	DC	X'0001000200040008000400020001'	*****		201
	DC	C'TRABAJC'			202
	END	AD010			203
	I	I			204
/*	// EXEC	LNKEDT			205
/*	// EXEC				206
/*					207
/*					208
/*	\$\$	EOJ			209
/*	END	PRINT			207 RECORDS



l_1 = numerador del coeficiente ($= l_1/l_3$)
 l_2 = long. en bytes del reg. de entrada
 l_3 = denominador del coeficiente.

APLICACION DEL FILTRO. - DIAGRAMA DE BLOQUE

1...5...10...15...20...25...30...35...40...45...50...55...60...65...70...75..

```

* $$ JOB JNMPRCKRANA,DISPRH,CLASSNO,USER@J. SIFUENTES@,PRIM8      001
// JOB RANGC COMPILA Y EJECUTA                                       002
// OPTION LCG                                                         003
// ASSGN SYS011,221                                                  004
// DLBL DISKIN,@J.SIFUENTES.4.NC.RCRRAR@,99/365.SD                 005
// EXTENT SYS011,SYSWK1,1.0,161652,2120                             006
// OPTION LINK                                                         007
// EXEC ASSEMBLY                                                     008
                                PRINT NCGEN                            009
PYCC      START 0                                                    010
LIST      DTFR  BLKSIZE:132,CTLCHRYES,DEVADDR:SYSLSLST,           X011
                                DEVICES:PRT1,                       X012
                                PRINTCVRYES,WORKKAYES,RECFORM:FTXUNB,IOAREA:RSALIMP  013
*                                                                           014
DISKIN    DTFSO BLKSIZE:R90,DEVADDR:SYS011,IOAREA:LRIN,           X015
                                DEVICES:FB,WORKKAYES,ELFADDR:FIN      016
*                                                                           017
*                                                                           018
*           IGUALAR REGISTROS GENERALES                               019
*                                                                           020
R2        EQU    2                                                    021
R3        EQU    3                                                    022
R4        EQU    4                                                    023
R5        EQU    5                                                    024
R6        EQU    6                                                    025
R7        EQU    7                                                    026
AD010    BALR   9,0                                                    027
                                USING 0,9                             028
                                B      INICIO                          029
*                                                                           030
SALIMP    DS     CL132                                                031
LINEA     DC     CL132@                                               032
RIN       DS     CL890                                                033
RINW      DS     CL890                                                034
*                                                                           035
INICIO    CPEN   LIST                                                 036
                                OPEN  DISKIN                          037
                                BAL    R2,TITULO                      038
                                L      R6,HO                          039
LECCIN    GET   DISKIN,RINW                                           040
                                MVC    I(24),HO                      041
                                A      R6,RF@1@                       042
LOCP      LA    R3,RINW                                               043
                                L      R4,I                           044
                                ALR    R3,R4                          045
                                MVC    H2+2(R2),O(R3)                * TRANSFIERE MEDIA PALABRA
                                LH     P3,O(R3)                       046
                                CH     R3,CG2                         047
                                BH     RUTG                           048
                                CH     R3,CL2                         049
                                BL     RUTL                           050
LPI       L      R5,I                                                 051
                                A      R5,RF@2@                       052
                                ST     R5,I                           053
                                C      R5,RF@8R8@                     054
                                BFM    LOOP                           055
                                B      LECCIN                          056

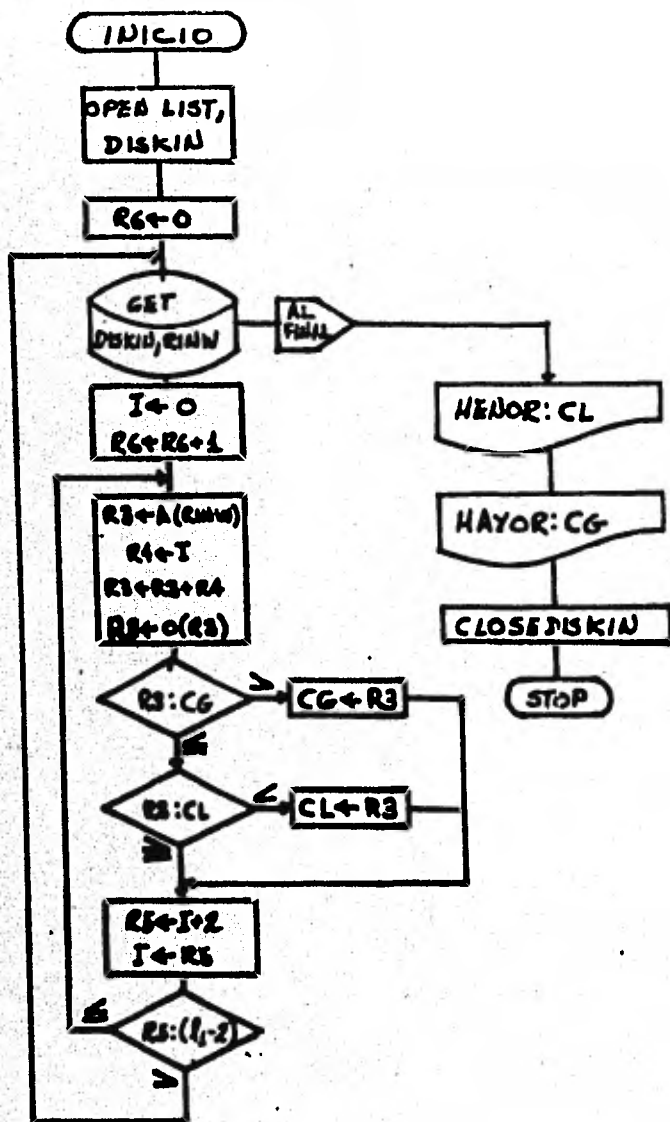
```

1...5...10...15...20...25...30...35...40...45...50...55...60...65...70...75..

PUTG	CH	R3,HO	057
	BNL	RUTG1	058
	MVC	CG%4),HF	059
	B	RUTG2	060
RUTG1	MVC	CG%4),HO	061
RUTG2	STH	R3,CG+2	062
	L	R3,CG	063
	CVD	R3,RER2	064
	MVC	LINEA+9%5),RC%MAYORA	065
	MVC	LINEA+21%5),RC%REG.2	066
	MVC	LINEA+33%3),RC% I 2	067
	MVC	LINEA+1%8),PHO	068
	MVC	LINEA+16%8),PHO	069
	MVC	LINEA+28%8),PHO	070
	ED	LINEA+1%9),RER2+4	071
	CVD	R6,RER2	072
	ED	LINEA+16%8),RER2+4	073
	L	R3,I	074
	CVD	R3,RER2	075
	ED	LINEA+28%8),RER2+4	076
	BAL	R2,IMP	077
	B	LP1	078
RUTL	CH	R3,HO	079
	BNL	RUTL1	080
	MVC	CL,HF	081
	B	RUTL2	082
RUTL1	MVC	CL%4),HO	083
RUTL2	STH	R3,CL+2	084
	L	R3,CL	085
	CVD	R3,REP2	086
	MVC	LINEA+9%5),RC%MENORA	087
	MVC	LINEA+21%4),RC%REG.2	088
	MVC	LINEA+33%3),RC% I 2	089
	MVC	LINEA+1%8),PHO	090
	MVC	LINEA+16%8),PHO	091
	MVC	LINEA+28%8),PHO	092
	ED	LINEA+1%8),RER2+4	093
	CVD	R6,RER2	094
	ED	LINEA+16%8),RER2+4	095
	L	R3,I	096
	CVD	R3,RER2	097
	ED	LINEA+28%8),RER2+4	098
	BAL	R2,IMP	099
	B	LP1	100
FIN	L	R3,CL	101
	CVD	R3,RER2	102
	MVC	LINEA+1%8),PHO	103
	MVC	LINEA+9%5),RC%MENORA	104
	ED	LINEA+1%8),RER2+4	105
	BAL	R2,IMP	106
	L	R3,CG	107
	CVD	R3,RER2	108
	MVC	LINEA+1%8),PHO	109
	MVC	LINEA+9%5),RC%MAYORA	110
	ED	LINEA+1%8),RER2+4	111
	BAL	R2,IMP	112

1...5...10...15...20...25...30...35...40...45...50...55...60...65...70...75..

	CLCSE	DISKIN	113
	EFJ		114
	DS	CL4	*****
REF2	DS	F	115
	DS	F	116
CG	DC	X200002	118
CG2	DC	H2-2002	119
CL	DC	X200002	120
CL2	DC	X27FFF2	121
I	DC	F202	122
H0	DC	F202	123
HF	DC	X2FFFF2	124
PHC	DC	X24020702020202020202	125
H2	DC	H202	126
H22	DC	H202	127
IMP	PUT	LIST,LINEA	128
	MVI	LINEA,C2 H	129
	MVC	LINEA+12,1311,LINEA	130
	MVC	LINEA211,RX2092	131
	BF	R2	132
			133
			134
TITULO	ST	R2,REF2	135
	MVC	LINEA211,RX2092	136
	MVC	LINEA+4761,DC2INIC1C2	137
	PAL	R2,IMP	138
	PAL	R2,IMP	139
	L	R2,REF2	140
	RR	R2	141
	END	ADD10	142
/0	I	I	143
	LNKEDT		144
// EXEC	LNKEDT		145
	EXEC		146
// EXEC			147
/0			148
/C			149
• SS	EOJ		150
•END	PRINT	150 RECCRDS	



$l_1 = \text{long. del registro de entrada.}$

3.1.3.- Obtención del histograma.- Este programa tiene la capacidad para formar un histograma de 256 grupos, los contadores están formados por una palabra (4 BYTES) cada uno, esto nos permite una cantidad de elementos por grupo mucho mayor que el número total de elementos en la imagen trabajada (4.3×10^9 capacidad máxima contra 3×10^5 en la imagen), esta capacidad de los contadores se debe a que el número total de elementos en la imagen es mayor a la capacidad máxima de dos BYTES (65,636) y aunque cabe en tres, el direccionamiento y manipulación de la información se presta más al ensamblador en frontera de palabra; esto se menciona porque el BYTE que se desperdicia por contador podría representar la diferencia entre operar con los recursos disponibles o no hacerlo por falta de ellos, considerando que es posible manejar rangos mayores. Por ejemplo, si la imagen de la que se pretende obtener histograma tiene un rango (diferencia entre el valor máximo y el mínimo) del orden de 1000 y se dispone de capacidad de almacenamiento (sin contar al de la imagen en sí) y memoria por 10K - (10,240 unidades de información (BYTES)), puede convenir invertir tiempo en algunas instrucciones adicionales para manejar contadores de tres BYTES y no desperdiciar 1000 BYTES.

En las páginas 124 a 126 se muestra una impresión de los estatutos de ensamblador que forman este programa; en la página 127, un diagrama de bloque con la lógica del mismo y en la página 128, una muestra de la impresión del histograma.

1...5...10...15...20...25...30...35...40...45...50...55...60...65...70...75.

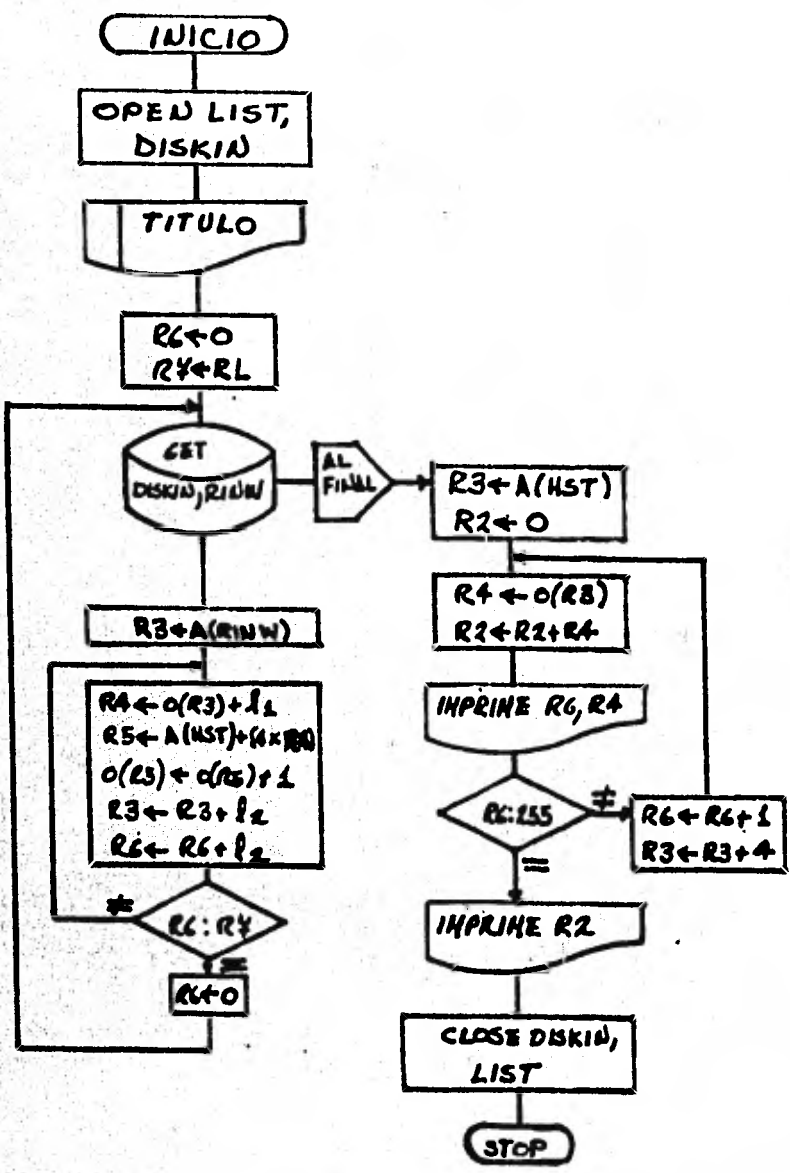
```

* $$ JOB JNMOPCHIST1,DISPQH,CLASSNO,USERQJ. SIFUENTESQ,PRIR7          001
* $$ LST JSEPE2                                                         002
// JOB OPCHIST COMPILA Y EJECUTA                                         003
* $$ LST FNCFB00,PRIRQ,DISPQH,FCHFB0FB                                  004
  ASSCN SYSCLB,UA                                                         005
  // OPTICN LCG                                                           006
  // ASSGN SYS011,221                                                    007
  // DLBL DISKIN,QJ.SIFUENTES.4.NO.BORRARQ,99/365,50                    008
  // EXTENT SYS011,SYMWK1,1,0,161652,2120                               009
  // OPTICN LINK                                                         010
  // EXEC ASSEMBLY                                                       011
    PRINT NOGEN                                                           012
PTCC   START 0                                                           013
LIST   DTFR  BLKSIZE=133,CTLCHR=YES,DEVADDR=SYSLS1,                     X014
        DEVIC=PR1,                                                       X015
        PRINT=VYES,WORK=KYES,RECFORM=FIXUR,IOAKE=INSALIMP             016
*
DISKIN DTFS  BLKSIZE=890,DEVADDR=SYS011,IOARE=LRIN,                     X018
        DEVIC=FB,WORK=KYES,EOF=ADRF IN                                   019
*
* IGUALAR REGISTROS GENERALES                                           020
*                                                                           021
*                                                                           022
R2     EQU    2                                                           023
R3     EQU    3                                                           024
R4     EQU    4                                                           025
R5     EQU    5                                                           026
R6     EQU    6                                                           027
R7     EQU    7                                                           028
ADU10  BALR   9,0                                                         029
        USING  *,9                                                         030
        B      INICIO                                                     031
*
SALIMP DS     CL133                                                       032
LINEA  DS     0CL133                                                       033
        DC     ,CL17Q @                                                    034
        DC     C@*@                                                       035
        DC     CL115Q @                                                    036
RIN    DS     CL890                                                       037
RINW   DS     CL890                                                       038
*
INICIC OPEN LIST                                                         040
        OPEN  DISKIN                                                       041
        BAL   R2,TITULO                                                    042
        L     R6,F0                                                         043
        L     R7,RL                                                         044
LEKIN  GET   DISKIN,RINW                                                  045
        LA   R3,RINW                                                       046
LOOP   LH   R4,(R3) * R4=PIXEL                                           047
        AH  R4,RH@51Q * DESPLAZA EL ORIGEN 51 UNIDADES                048
        LA  R5,HST                                                         049
        STH R4,WS                                                         050
        AH  R5,WS *                                                       051
        AH  R5,WS * SUMA CUATRO VECES EL DESPLAZAMIENTO              052
        AH  R5,WS * 2FRONTERA DE PALABRA)                             053
        AH  R5,WS *                                                       054
        L   R4,(R5) * CARGA EL CONTADOR CORRESPONDIENTE EN R4        055

```

1...5...10...15...20...25...30...35...40...45...50...55...60...65...70...75.

	A	R4,RF010	057
	ST	R4,0XR5)	058
	A	R3,RF020	059
	A	R6,RF020	060
	CLP	R6,R7	061
	BNE	LOCP	062
	L	R6,F0	063
	B	LEKIN	064
FIN	LA	R3,HST	065
	MVI	LINEA,X0090	066
	L	R2,F0	067
FIN1	L	R4,0XR3) * 0XR3) ES LA DIRECCION DEL CONTADOR (ESIMO.	068
	CVD	R4,RER2	069
	LA	R5,LINEA+1	070
	LR	R7,R5	071
	MVC	LINEA+8X8),PH0	072
	ED	LINEA+8X8),RER2+4	073
	MVC	LINEA+2X4),PH0	074
	ALP	R2,k4	075
	C	R4,F0	076
	BE	FIN3	077
	A	R4,RF0500	078
	CVD	R4,RER2	079
	UNPK	DECX8),RER2+4X4)	080
	PACK	RER2X8),DECX6)	081
	CVD	R5,RER2	082
	C	R5,RF01150	083
	BL	FIN2	084
	L	R5,RF01150	085
FIN2	A	R5,RAXLINEA+17)	086
	MVI	0XR5),C0+0	087
	LR	R7,R5	088
	A	R4,RF04500	089
	CVD	R4,RER2	090
	UNPK	DECX8),RER2+4X4)	091
	PACK	RER2+4X4),DECX5)	092
	CVD	R5,RER2	093
	A	R5,RAXLINEA+17)	094
	MVI	0XR5),C0+0	095
FIN3	CVD	R6,RER2	096
	ED	LINEA+2X4),RER2+6	097
	PUT	LIST,LINEA	098
	MVI	0XR5),C0 0	099
	MVI	0XR7),C0 0	100
	C	R6,RF02550	101
	BE	FUERA	102
	A	R6,RF010	103
	A	R3,RF040	104
	B	FIN1	105
FUERA	CVD	R2,REK2	106
	MVC	LINEA+8X8),PH0	107
	ED	LINEA+8X8),RER2+4	108
	MVC	LINEA+1X8),RC0TOTAL 0	109
	PUT	LIST,LINEA	110
	CL0SE	DISK IN	111
	CL0SE	LIST	112



l_1 = desplazamiento del origen.
 l_2 = long. en bytes del pixel.

3.1.4.- Impresión de la Imagen.- Este algoritmo se diseñó para ofrecer un medio de juzgar visualmente el resultado de los filtros aplicados. El aparato digitalizador que se usó para obtener el original - trabajado tiene la capacidad, como se mencionó antes, de efectuar el proceso inverso, esto es, leer una cinta y exponer un material fotográfico. En este caso, se hubiera podido generar una cinta grabada - con la información resultada de cada uno de nuestros filtros, pero el acceso a este aparato fue limitado, por lo que se procuró la impresión de la imagen en papel forma continua para impresora de alta velocidad con tipografía convencional.

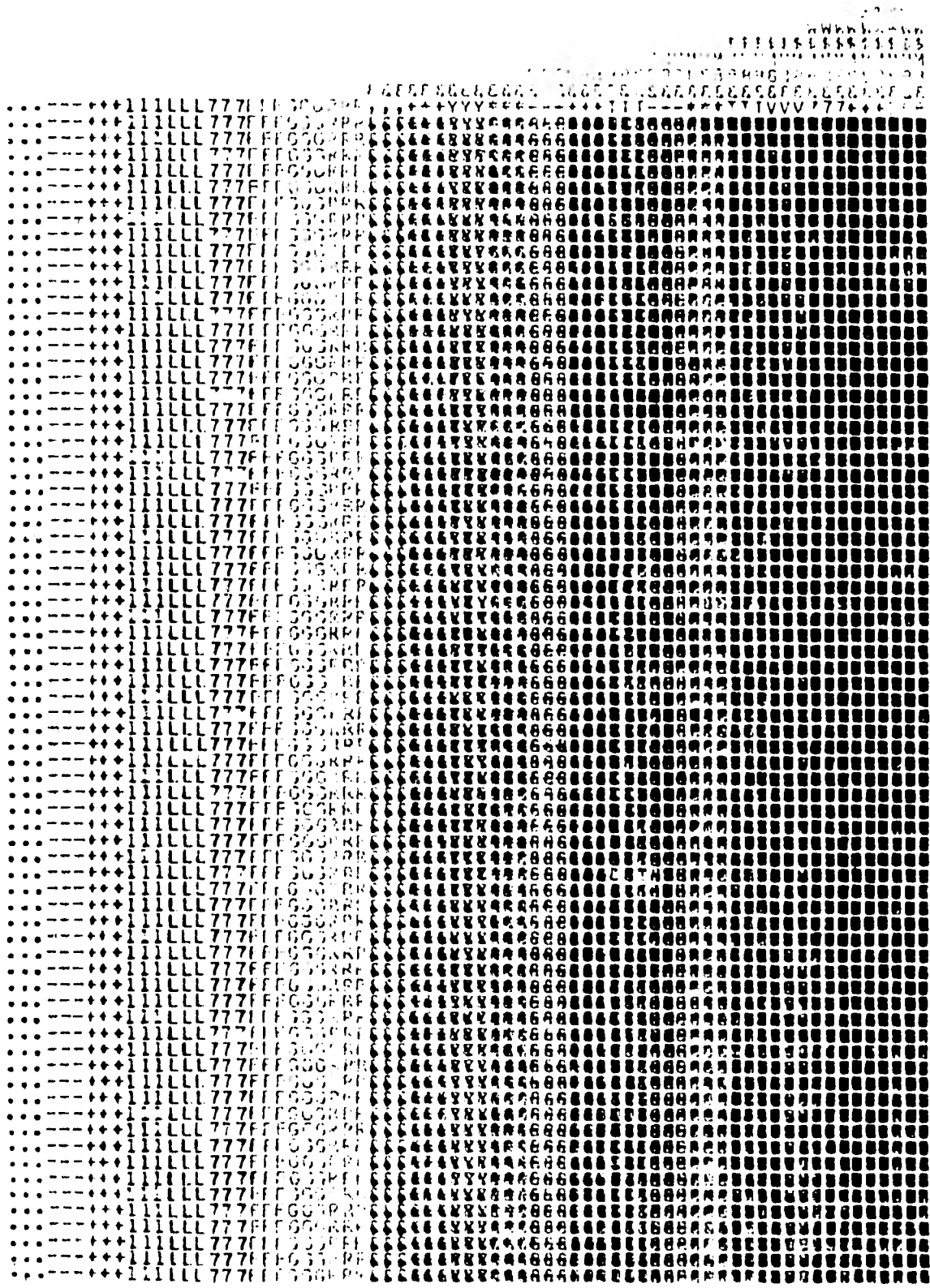
Se determinó una escala de 24 grises, mediante la sobreimpresión de 7 caracteres de entre los disponibles, incluyendo la densidad cero o ausencia de impresión como el primer grupo; la escala de grises se muestra en la página siguiente, cada grupo está representado por una columna de tres caracteres de ancho y el primer renglón se ha desglosado en sus siete componentes para ilustrar la formación de cada grupo de densidades o nivel de gris. La sobreimpresión se controla con un carácter de control de carro, las configuraciones usadas son:

89₁₆ = principio de la página siguiente; 09₁₆ = espaciado sencillo, 01₁₆ = sobreimpresión.

Para representar una imagen con un rango de orden de 200 en 24 grises, se agruparon los niveles de la imagen filtrada en 24 grupos, aproximadamente equipoblacionales utilizando la información proporcionada - por el programa del histograma, logrando así dentro de las limitaciones de este medio de representación, una imagen con un número de niveles y respuesta del ojo humano, razonables.

Este programa imprime la imagen en tiras de papel de 132 caracteres (pixels), por lo que una imagen de 450 elementos en cada renglón, se imprimirá en tres tiras completas y una fracción de la cuarta. Para adecuar más este medio de representación, se utilizó la capacidad de la impresora para imprimir 8 renglones en una pulgada (octavos), - -

ESCALA DE 24 GRISES. COMBINACIONES DE CARACTERES.



siendo 6 renglones por pulgada el espaciado standard; esto se provoca con la inclusión del estatuto de control 286 (FCB=BUF8), puede verse la impresión de los estatutos del programa en las páginas 132 a 137 y un diagrama de bloque de la lógica en la página 138. . Se incluye también una muestra de la trama de la impresión generada en la ejecución de este programa en la página 139.

1...5...10...15...20...25...30...35...40...45...50...55...60...65...70...75.

```

* ** JOB JNMPOPCIMPDC,DISPRD,CLASSNO,PRIN4,USERR2J. SIFUENTES@ 001
// JOB CPDENS COMPILA Y EJECUTA 002
// OPTION LINK,LOG 003
// EXEC ASSEMBLY 004
PRINT NOGEN 005
PTCC START 0 006
LIST DTFPR BLKSIZE133,CTLCHRYES,DEVADDRSYSLS1, X007
        DEVICEMPT1, X008
        PRINTOVRYES,WORKARYES,RECFORMOFIXUNR,ICAREALASALIMP 009
DISKIN: DTFSD BLKSIZE890,DEVADDRSYS011,EOFADDRFIN,ICAREALRIN, X010
        DEVICERFDA,WORKARYES 011
* 012
* IGUALAR REGISTROS GENERALES * IMPDEF * 013
* 014
R2 EQU 2 015
R3 EQU 3 016
R4 EQU 4 017
R5 EQU 5 018
R6 EQU 6 019
R7 EQU 7 020
AD010 BALR 9,0 021
        USING 9,9,10 022
HERE L 10,BASE 023
        B INICIO 024
* 025
BASE DC ASHERE+4096) 026
SALIMP DS CL133 027
LINEA DS OCL133 028
CC DS CL1 029
        DS CL132 030
RIN DS CL890 031
RINW DS CL890 032
* 033
INICIO CPEN LIST * INICIO 034
LOOP1 BAL R2,TITULO 035
        OPEN DISKIN 036
LOOPA GET DISKIN,RINW 037
        LA R3,RINW 038
        AH R3,INIC 039
        LA R4,LIN 040
        ST R4,RER2 041
LCCPD MVC J(2),O(2R3) 042
        LH R6,J 043
        AH R6,AM2512 * DESPLAZA EL ORIGEN 51 UNIDADES 044
        * ASIGNACION DE GRUPO * 045
        CH R6,AM2502 046
        BH S1 047
        LH R6,H0 CERO 048
        B SIGUE 049
S1 CH R6,AM2512 050
        BH S2 051
        LH R6,AM212 UNO 052
        B SIGUE 053
S2 CH R6,AM2522 054
        BH S3 055
        LH R6,AM232 TRES 056

```

1...5...10...15...20...25...30...35...40...45...50...55...60...65...70...75.

	B	SIGUE		057
S3	CH	R6, RH2532		058
	BH	S4		059
	LH	R6, RH2522	CINCO	060
	B	SIGUE		061
S4	CH	R6, RH2552		062
	BH	S5		063
	LH	R6, RH2822	OCHO	064
	B	SIGUE		065
S5	CH	R6, RH2572		066
	BH	S6		067
	LH	R6, RH2102	DIEZ	068
	B	SIGUE		069
S6	CH	R6, RH2592		070
	BH	S7		071
	LH	R6, RH2122	DOCE	072
	B	SIGUE		073
S7	CH	R6, RH2612		074
	BH	S8		075
	LH	R6, RH2152	QUINCE	076
	B	SIGUE		077
S8	CH	R6, RH2632		078
	BH	S9		079
	LH	R6, RH2202	VEINTE	080
	B	SIGUE		081
S9	CH	R6, RH2662		082
	BH	S10		083
	LH	R6, RH2322	TRICENTA Y DOS	084
	B	SIGUE		085
S10	CH	R6, RH2692		086
	BH	S11		087
	LH	R6, RH2392	TRICENTA Y NUEVE	088
	B	SIGUE		089
S11	CH	R6, RH2722		090
	BH	S12		091
	LH	R6, RH2422	CUARENTA Y DOS	092
	B	SIGUE		093
S12	CH	R6, RH2752		094
	BH	S13		095
	LH	R6, RH2542	CINCUENTA Y CUATRO	096
	B	SIGUE		097
S13	CH	R6, RH2792		098
	BH	S14		099
	LH	R6, RH2712	SETENTA Y UNO	100
	B	SIGUE		101
S14	CH	R6, RH2922		102
	BH	S15		103
	LH	R6, RH2772	SETENTA Y SIETE	104
	B	SIGUE		105
S15	CH	R6, RH2822		106
	BH	S16		107
	LH	R6, RH2792	SETENTA Y NUEVE	108
	B	SIGUE		109
S16	CH	R6, RH2932		110
	BH	S17		111
	LH	R6, RH2852	OCHENTA Y CINCO	112

1...5...10...15...20...25...30...35...40...45...50...55...60...65...70...75.

	B	SIGUE		113
S17	CH	R6, RHD980		114
	BN	S18		115
	LH	R6, RHD1140	CIENTO CATOPCE	116
	B	SIGUE		117
S18	CH	R6, RHD1030		118
	BN	S19		119
	LH	R6, RHD1450	CIENTO CUARENTA Y CINCO	120
	B	SIGUE		121
S19	CH	R6, RHD1080		122
	BN	S20		123
	LH	R6, RHD1590	CIENTO CINCUENTA Y NUEVE	124
	B	SIGUE		125
S20	CH	R6, RHD1130		126
	BN	S21		127
	LH	R6, RHD1670	CIENTO SESENTA Y SIETE	128
	B	SIGUE		129
S21	CH	R6, RHD1180		130
	BN	S22		131
	LH	R6, RHD1970	CIENTO NOVENTA Y SIETE	132
	B	SIGUE		133
S22	CH	R6, RHD1230		134
	BN	S23		135
	LH	R6, RHD2230	DOSCIENTOS VEINTITRES	136
	B	SIGUE		137
S23	LH	R6, RHD2550	DOSCIENTOS CINCUENTA Y CINCO	138
***** FIN DE LA Rutina DE ASIGNACION DE GRUPO *****				139
SIGUE	STH	R6, J		140
	LH	R7, J		141
	LH	R5, N222		142
	CLR	R7, R5		143
	BNH	RUT1		144
	MVI	OXR41, C080		145
	SH	R6, RHD330		146
RUT1	AM	R4, RHD1320		147
	LH	R5, N185		148
	CLR	R7, R5		149
	BNH	RUT2		150
	MVI	OXR41, C080		151
	SH	R6, N37		152
RUT2	LH	R5, N148		153
	AM	R4, RHD1320		154
	CLR	R7, R5		155
	BNH	RUT3		156
	MVI	OXR41, C080		157
	SH	R6, N37		158
RUT3	LH	R5, N111		159
	AM	R4, RHD1320		160
	CLR	R7, R5		161
	BNH	RUT4		162
	MVI	OXR41, C080		163
	SH	R6, N37		164
RUT4	LH	R5, N74		165
	AM	R4, RHD1320		166
	CLR	R7, R5		167
	BNH	RUT5		168

1...5...10...15...20...25...30...35...40...45...50...55...60...65...70...75.

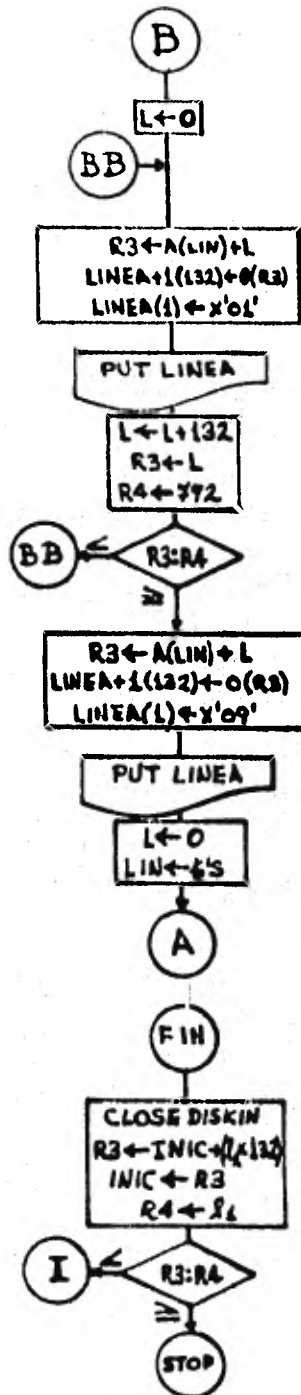
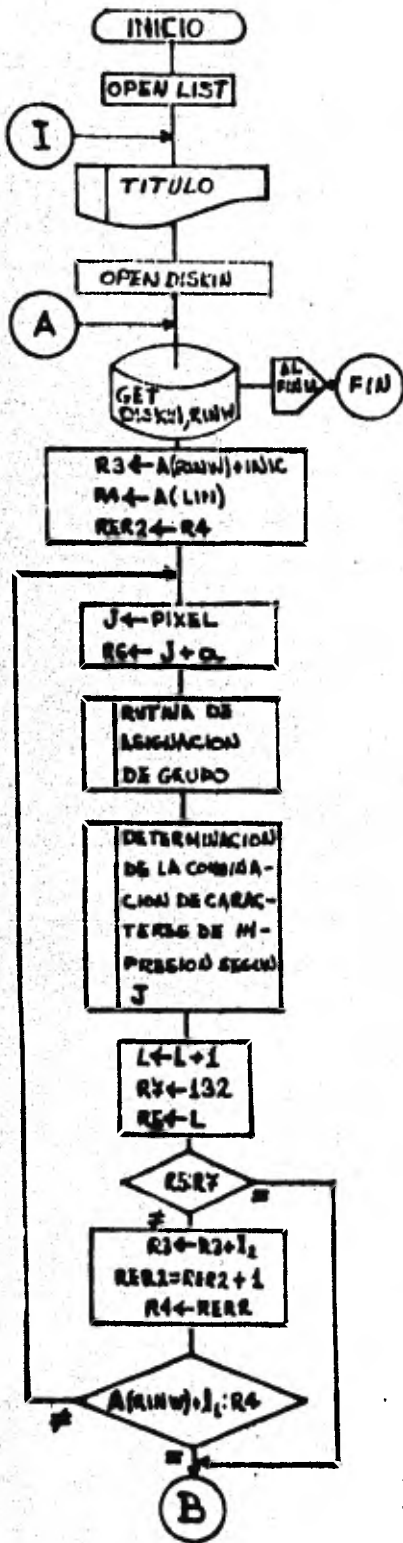
	MVI	0XR4),C282	169	
	SH	R6,N37	170	
RUT5	LH	R5,N37	171	
	AH	R4,RH21322	172	
	CLR	R7,R5	173	
	BNH	RUT6	174	
	MVI	0XR4),X2502	175	
	SH	R6,N37	176	
RUT6	LA	R5,T	177	
	ALR	R5,R6	178	
	AH	R4,RH21322	179	
	MVC	0X1,R4),0XR5)	180	
* FIN DE	LA	LA RUTINA QUE DETERMINA LA COMBINACION DE CARACTERES SEGUN J.	181	
	LH	R5,L	*****	182
	AH	R5,RH212	* L A L+1	183
	STH	R5,L	*****	184
	LH	R7,RH21322		185
	CLR	R5,R7		186
	BE	LOOPB		187
	AH	R3,RH222		188
	L	R4,RER2		189
	AH	R4,RH212		190
	ST	R4,RER2		191
	LA	R7,RIN4		192
	A	R7,RF29502		193
	CLR	R7,R3		194
	ENE	LOOPD		195
LOOPB	MVC	L32),H0		196
LOOPBB	LA	R3,LIN		197
	AH	R3,L		198
	MVC	LINEA+1X132),0XR3)		199
	MVI	LINEA,X2012		200
	PUT	LIST,LINEA		201
	LH	R3,L		202
	AH	R3,RH21322		203
	STH	R3,L		204
	LH	R4,RH27922		205
	CLR	R3,R4		206
	BL	LOOPBB		207
	LA	R3,LIN		208
	AH	R3,L		209
	MVC	LINEA+1X132),0XR3)		210
	MVI	LINEA,X2002		211
	PUT	LIST,LINEA		212
	MVC	L32),H0		213
	MVI	LIN,C2 @		214
	MVC	LIN+1X256),LIN		215
	MVC	LIN+257X256),LIN+256		216
	MVC	LIN+513X256),LIN+512		217
	MVC	LIN+769X155),LIN+768		218
	B	LCOPA		219
				220
* FIN	CLOSE	DISKIN		221
	LH	R3,INIC		222
	AH	R3,RH22642		223
	STH	R3,INIC		224

1...5...10...15...20...25...30...35...40...45...50...55...60...65...70...75.

	LI	R4, RH2890a	225
	CLP	R3, R4	226
	RI	LOCPI	227
	ECJ		228
	DS	CL2	229
	DS	F	230
RER2	DS	F	231
N222	DC	H2222a	232
N255	DC	H2255a	233
N185	DC	H2185a	234
N148	DC	H2148a	235
N111	DC	H2111a	236
N74	DC	H274a	237
N37	DC	H237a	239
J	DC	H20a	239
L	DC	H20a	240
MAS	DC	X201a *	241
K	DC	H20a	242
HO	DC	H20a	243
INIC	DC	H20a	244
CH	US	CL1	245
PHO	DC	X240202020a	246
H	DC	H20a	247
	CFG	H	248
T	US	OCL31	249
	DC	C2 ..-R+1/11LT7J2FEa	250
	DC	X250a	251
	DC	C2YCVG3S5UOC2	252
	DC	C2DU69PFA2NKR2	253
	DC	X240a	254
TAB	DC	X20002020507080A0B0D0F2	255
	DC	X21012141517191A1C1U1F2	256
	DC	X2122242627292A2C2E2F2	257
	DC	X23133343639393D3C3E402	258
	DC	X241434546484A4B4D4E502	259
	DC	X252535557585A5C5D5F602	260
	DC	X262646567696A6C6E6F712	261
	DC	X272747677797B7C7E7F812	262
	DC	X28384H68889888D8E90912	263
	DC	X2939596989A9B9D9FA0A22	264
	DC	X2A3A5A7A9AAACADAFA1B22	265
	DC	X2B4B5B7B9BABCDEBFC1C32	266
	DC	X2C4C6C7C9CBCCCEDD1D32	267
	DC	X2D4D6D8D9DBDDDEE0E2E32	268
	DC	X2E5E6E8EAEBEDEF2F42	269
	DC	X2F5F7F8FAFC1DFF2	270
LIN	DC	XL256240a	271
	DC	XL256240a	272
	DC	XL256240a	273
	DC	XL156240a	274
TITULO	ST	R2, RER2	275
	MVC	LINEA(1), RK299a	276
	MVC	LINEA+4291, NC2FIL6-1.4 a	277
	MVC	LINEA+118119), LINEA+10	278
	PUT	LIST, LINEA	279
	MVI	LINEA+5, C2 a	280

1...5...10...15...20...25...30...35...40...45...50...55...60...65...70...75.

L	R2,PER2	281
RR	R2	282
END	A0010	283
/*	I	284
//	EXEC LNKENT	285
•	SS LST FNCRBHR,PRIR9,DISPCH,FCRRUF8	286
//	DLBL DISKIN,2J.SIFUENTES.4.NO.DORRARA,99/365,SD	287
//	EXTENT SYS011,SYSWK1,1,0,161652,2120	288
//	ASSGN SYS011,221	289
//	EXEC	290
/*		291
/C		292
•	SS ENJ	293
•	END PPINT	
	293 RECORDS	



l_1 = long. del registro de entrada.
 l_2 = long. del pixel en bytes.
 a = desplazamiento del origen.

IMPRESION DE LA IMAGEN.- DIAGRAMA DE BLOQUE.

4.- Resultados.

Filtro 1. - Suma de los 49 pesos relativos $SW = 48 = \sum_{\mu=1}^{48} W_{\mu}$

- Rango $[-73, 113]$, desplazado a $[0, 186]$ para las impresiones (histograma e imagen).

- Formación de los 24 grupos equipoblacionales:

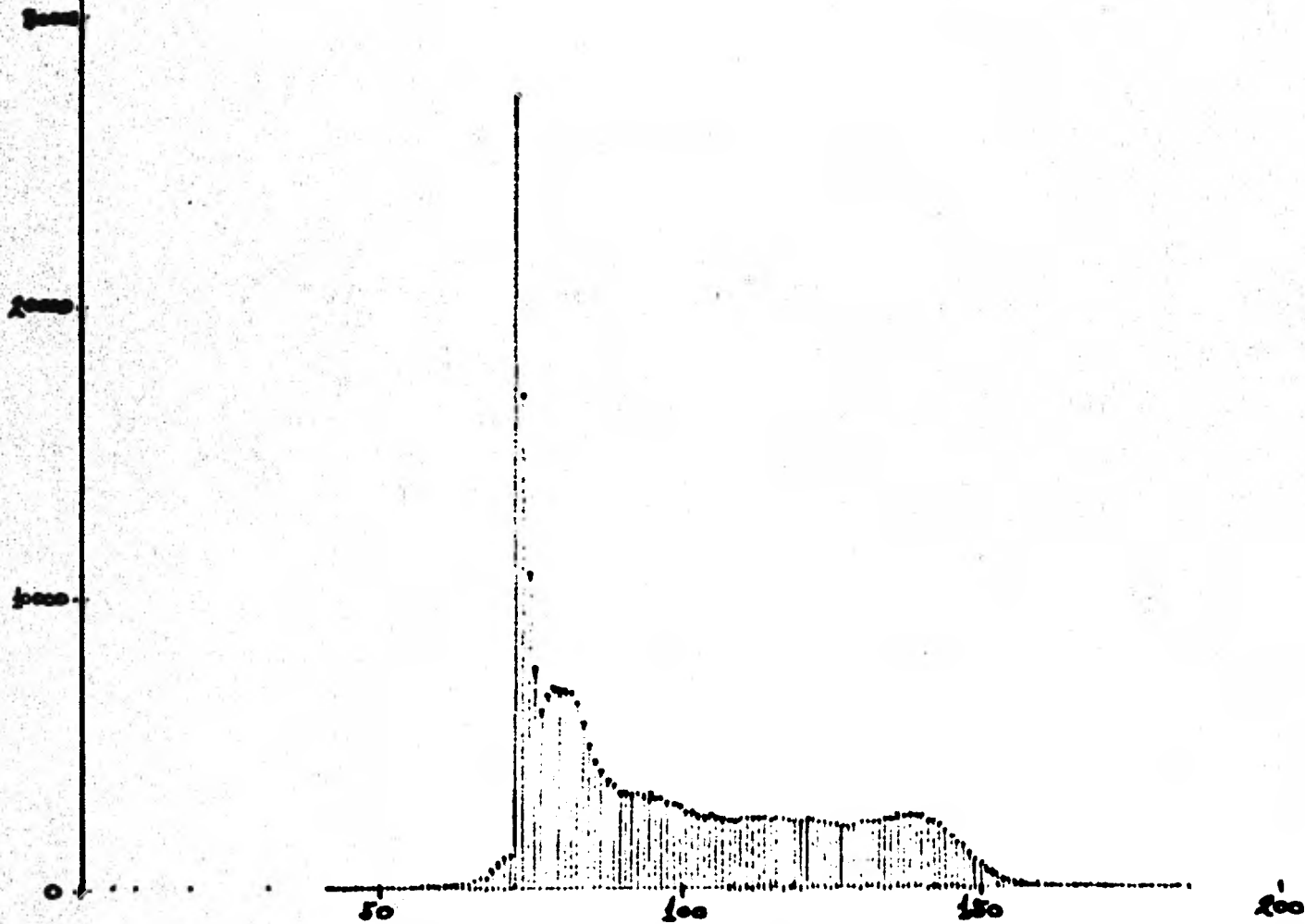
<u>GRUPO</u>	<u>RANGO</u>	<u>NUMERO DE ELEMENTOS</u>
1	0-72	7289
2	73	27235
3	74	16935
4	75	10809
5	76-77	13369
6	78-79	13515
7	80-81	13494
8	82-83	13091
9	84-85	10581
10	86-88	12168
11	89-91	10239
12	92-95	12959
13	96-99	12047
14	100-103	10815
15	104-108	12268
16	109-112	11981
17	114-118	12062
18	119-123	11754
19	124-128	11026
20	129-133	11348
21	134-138	12360
22	139-143	11737
23	144-153	11639
24	154-186	2089

TOTAL: 292810

- Esquema del histograma en la página siguiente.
- Se muestra la impresión de la imagen filtrada en la fotografía 5.1.

Histograma 1

N = 292810



Filtro 2. - SW = 2196

- Rango: $[-51, 103]$, desplazado a $[0, 154]$ para las impresiones.

- Formación de los 24 grupos:

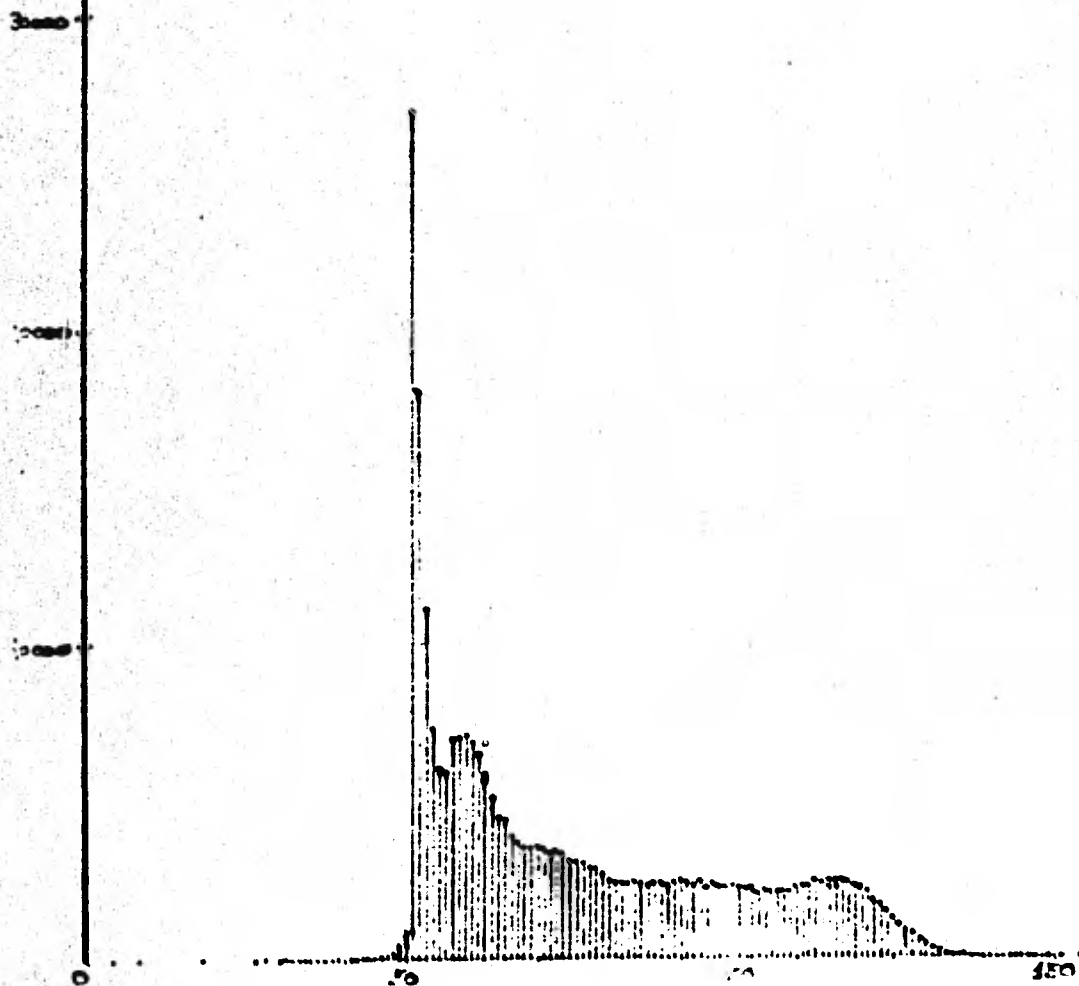
<u>GRUPO</u>	<u>RANGO</u>	<u>NUMERO DE ELEMENTOS</u>
1	0-50	2552
2	51	26931
3	52	17809
4	53	11131
5	54-55	13369
6	56-57	13650
7	58-59	14231
8	60-61	13452
9	62-63	11059
10	64-66	12774
11	67-69	10942
12	70-72	10502
13	73-75	10035
14	76-79	11871
15	80-83	10450
16	84-88	12265
17	89-93	12174
18	94-98	12009
19	99-103	11703
20	104-113	11892
21	109-113	11648
22	114-118	12421
23	119-123	10558
24	124-154	8382

TOTAL: 292810

- Esquema del histograma en la página siguiente.
- Impresión de la imagen filtrada en la fotografía 5.2.

Histograma 2

$D=292810$



Filtro 3. - $SW = 4416$.

- Rango: $[-49, 103]$, desplazado a $[0, 152]$ para las impresiones.

- Formación de los 24 grupos:

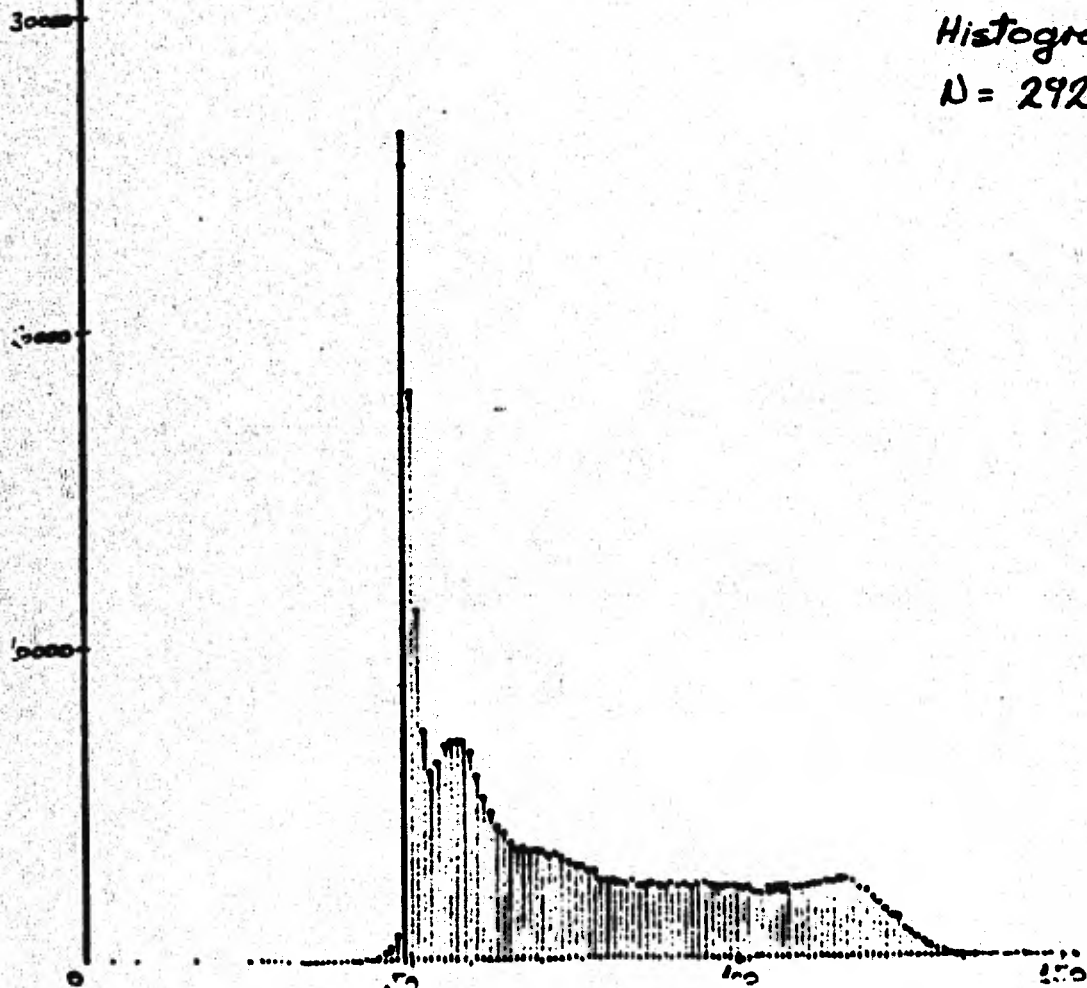
<u>GRUPO</u>	<u>RANGO</u>	<u>NUMERO DE ELEMENTOS</u>
1	0- 48	2324
2	49	26240
3	50	18081
4	51	11122
5	52- 53	13286
6	54- 55	13202
7	56- 57	14049
8	58- 59	13527
9	60- 61	11044
10	62- 64	12924
11	65- 67	10882
12	68- 70	10401
13	71- 74	13039
14	75- 78	11603
15	79- 83	12443
16	84- 88	12058
17	89- 93	11887
18	94- 98	11770
19	99-103	11258
20	104-109	12979
21	110-114	11868
22	115-119	12099
23	120-127	11960
24	128-152	2764

TOTAL: 292810

- Esquema del histograma en la página siguiente:
- Impresión de la imagen filtrada en la fotografía 5.3.

Histograma 3

N = 292810



200

Filtro 4. - $SW = 12284$.

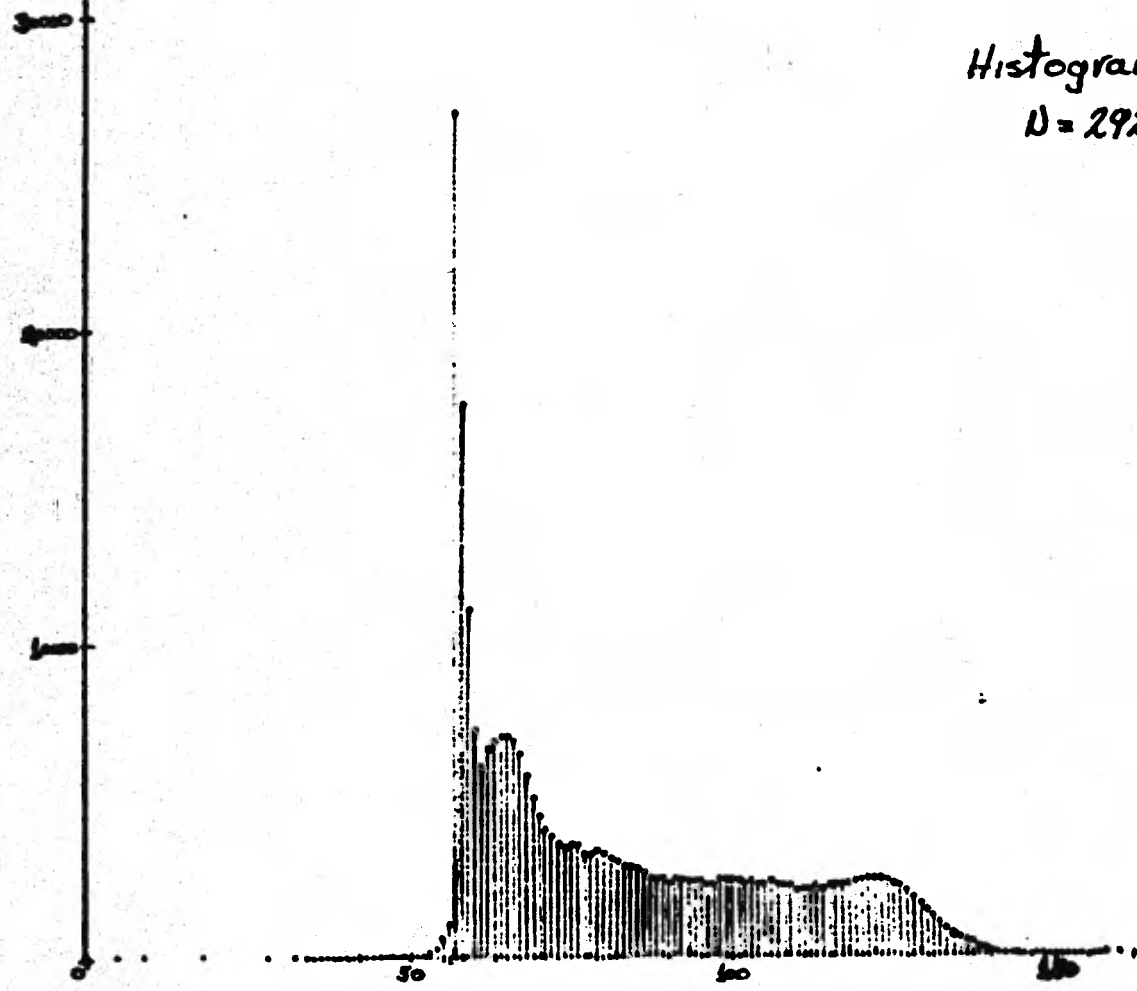
- Rango $[-57, 105]$, desplazado a $[0, 162]$ para las impresiones.
- Formación de los 24 grupos:

<u>GRUPO</u>	<u>RANGO</u>	<u>NUMERO DE ELEMENTOS</u>
1	0- 56	3381
2	57	26938
3	58	17647
4	59	11169
5	60- 61	13313
6	62- 63	13651
7	64- 65	14122
8	66- 67	13439
9	68- 69	10916
10	70- 72	12716
11	73- 75	10888
12	76- 78	10267
13	79- 82	13012
14	83- 86	11445
15	87- 91	12555
16	92- 96	12140
17	97-101	12188
18	102-106	11900
19	107-111	11178
20	112-116	11186
21	117-121	12065
22	122-126	12160
23	127-134	11708
24	135-162	2826

TOTAL: 292810

- Esquema del Histograma en la página siguiente.
- Impresión de la imagen filtrada en la fotografía 5.4.

Histograma 4
N = 292810



Filtro 5. - $SW = 1812$.

- Rango $[-46, 101]$, desplazado a $[0, 147]$ para las impresiones.

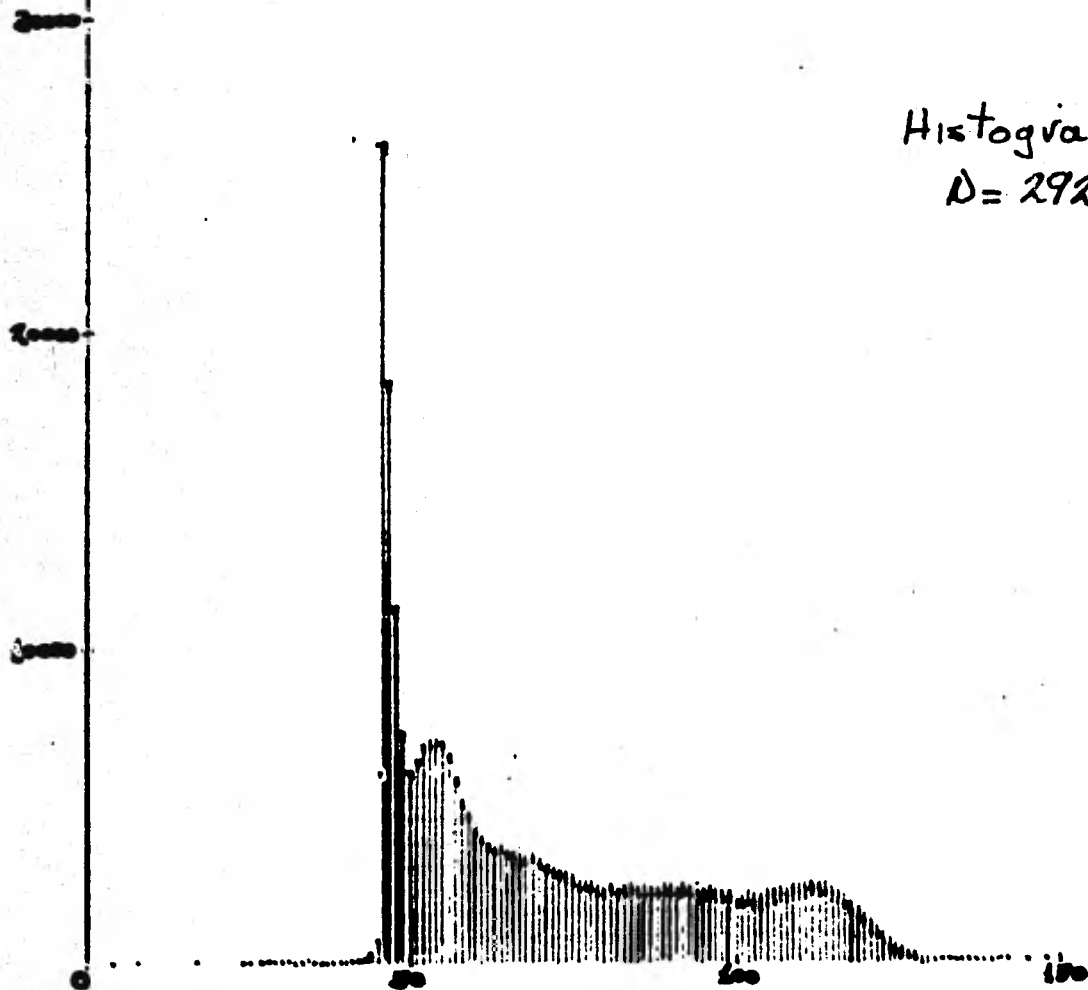
- Formación de los 24 grupos:

<u>GRUPO</u>	<u>RANGO</u>	<u>NUMERO DE ELEMENTOS</u>
1	0- 45	1658
2	46	26035
3	47	18460
4	48	11265
5	49- 50	13334
6	51- 52	13335
7	53- 54	14218
8	55- 56	13648
9	57- 58	11128
10	59- 61	13004
11	62- 64	11063
12	65- 68	13937
13	69- 72	12842
14	73- 76	11255
15	77- 81	12485
16	82- 86	12091
17	87- 91	11993
18	92- 96	11893
19	97-101	10951
20	102-106	11065
21	107-111	12047
22	112-116	12081
23	117-125	11391
24	126-147	1631

TOTAL: 292810

- Esquema del histograma en la página siguiente.
- Impresión de la imagen filtrada en la fotografía 5.5.

Histograma 5
N = 292810



Filtro 6. - SW = 788.

- Rango: $[-14, 106]$, desplazado a $[0, 120]$ para las impresiones.

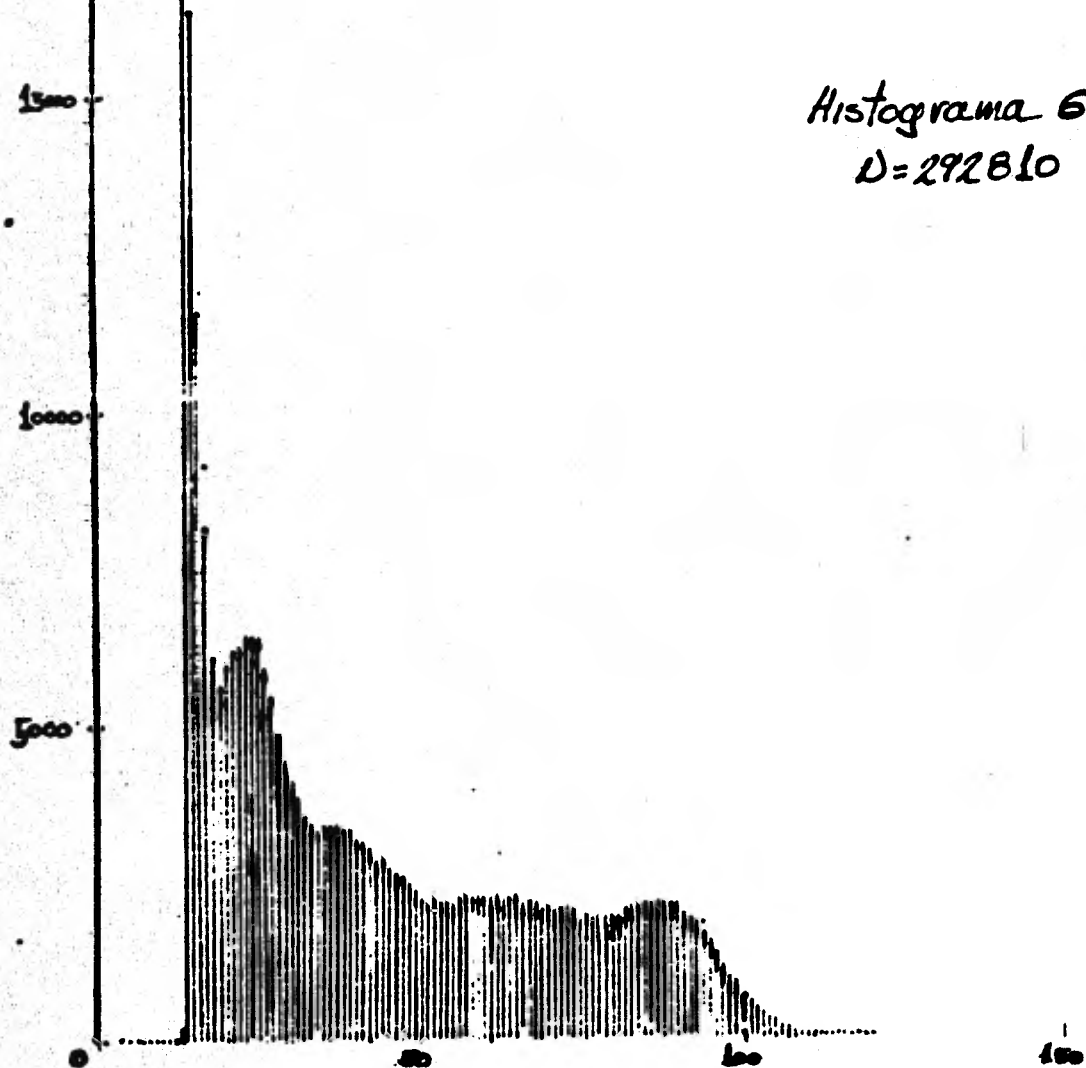
- Formación de los 24 grupos:

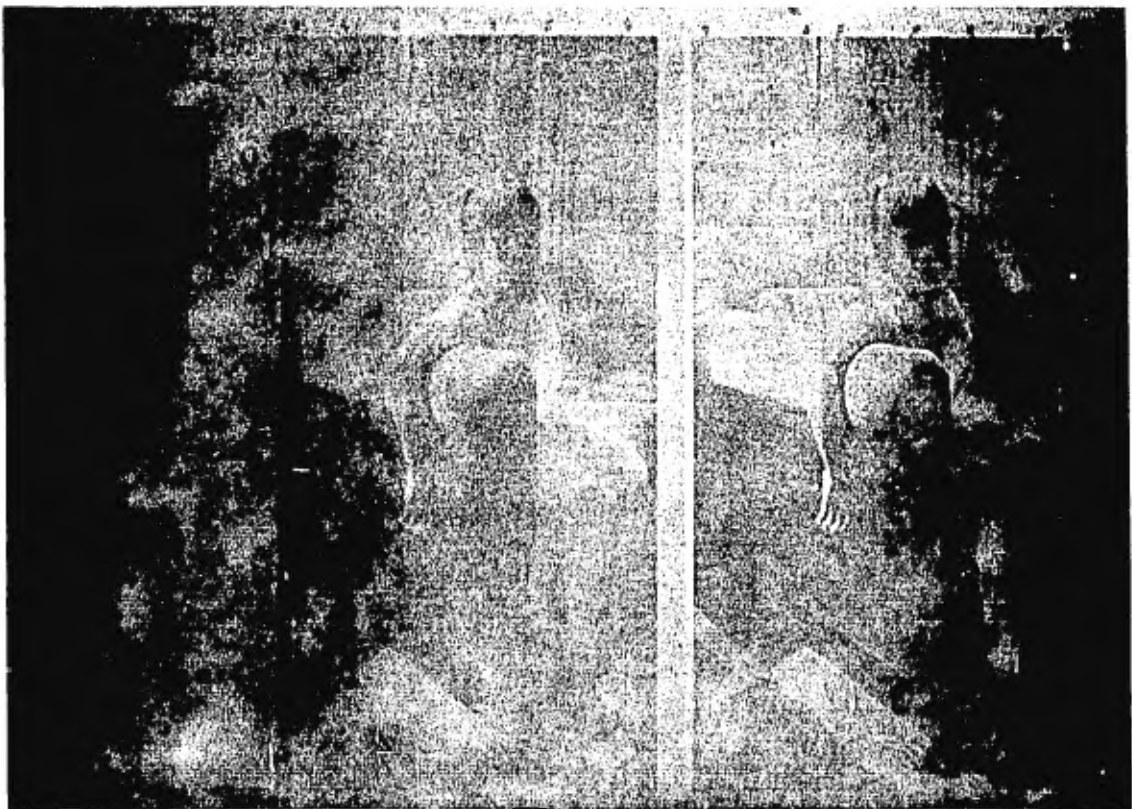
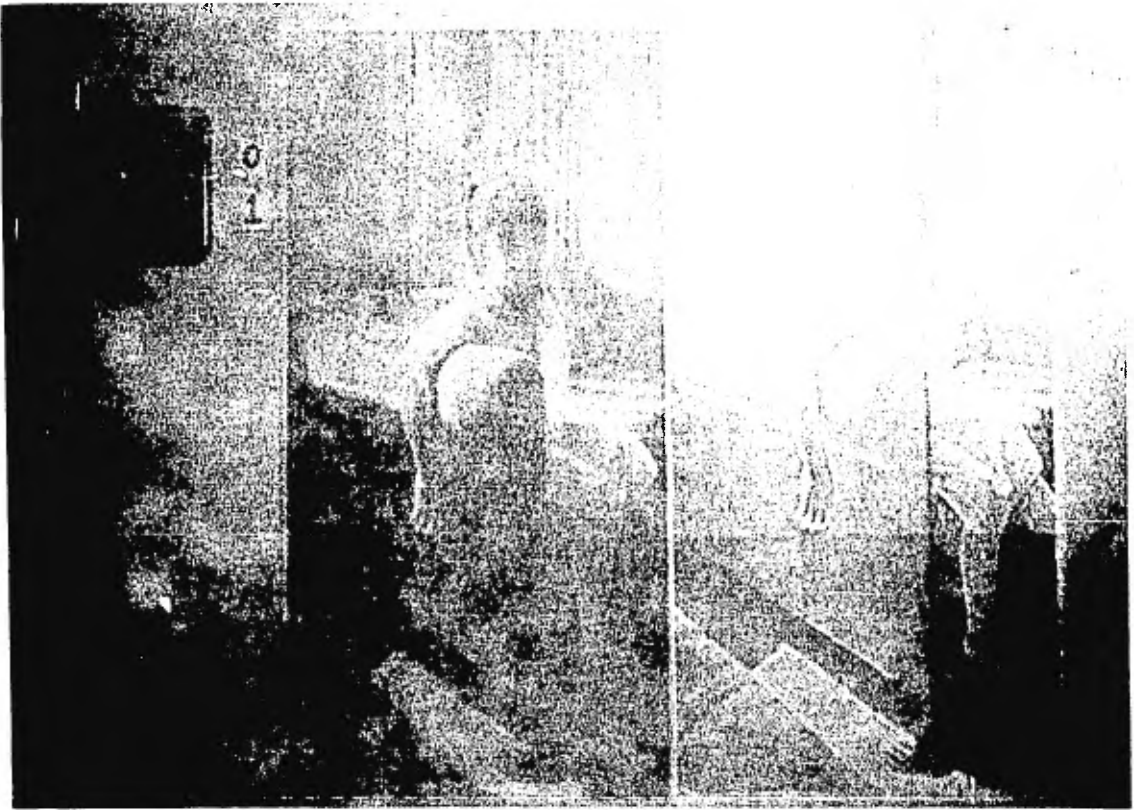
<u>GRUPO</u>	<u>RANGO</u>	<u>NUMERO DE ELEMENTOS</u>
1	0- 13	351
2	14	19936
3	15	16388
4	16	11523
5	17- 18	14124
6	19- 20	11553
7	21- 22	12460
8	23- 24	12856
9	25- 26	12246
10	27- 29	14717
11	30- 32	11465
12	33- 36	13619
13	37- 40	13252
14	41- 44	11933
15	45- 49	12753
16	50- 55	13432
17	56- 60	11371
18	61- 66	13252
19	67- 72	12593
20	73- 78	11756
21	79- 84	12124
22	85- 97	11280
24	98-120	5090

TOTAL: 292810

- Esquema del histograma en la página siguiente.
- Impresión de la imagen filtrada en la fotografía 5.6.

Histograma 6
D=292810





- FOTOGRAFIA 5.1 (SUPERIOR). - IMPRESIONES DEL ORIGINAL (120.)
Y DEL FILTRO 1 (PIR.)

- FOTOGRAFIA 5.2 (INFERIOR). - IMPRESIONES DEL ORIGINAL (120.)
Y DEL FILTRO 2 (PIR.)



- FOTOGRAFIA 5.2 (SUPERIOR) - DIMENSIONES DEL ORIGINAL (1120.)
Y DEL FILTRO 5 (DUP.)

- FOTOGRAFIA 5.3 (INFERIOR) - DIMENSIONES DEL ORIGINAL (1120.)
Y DEL FILTRO 7 (DUP.)



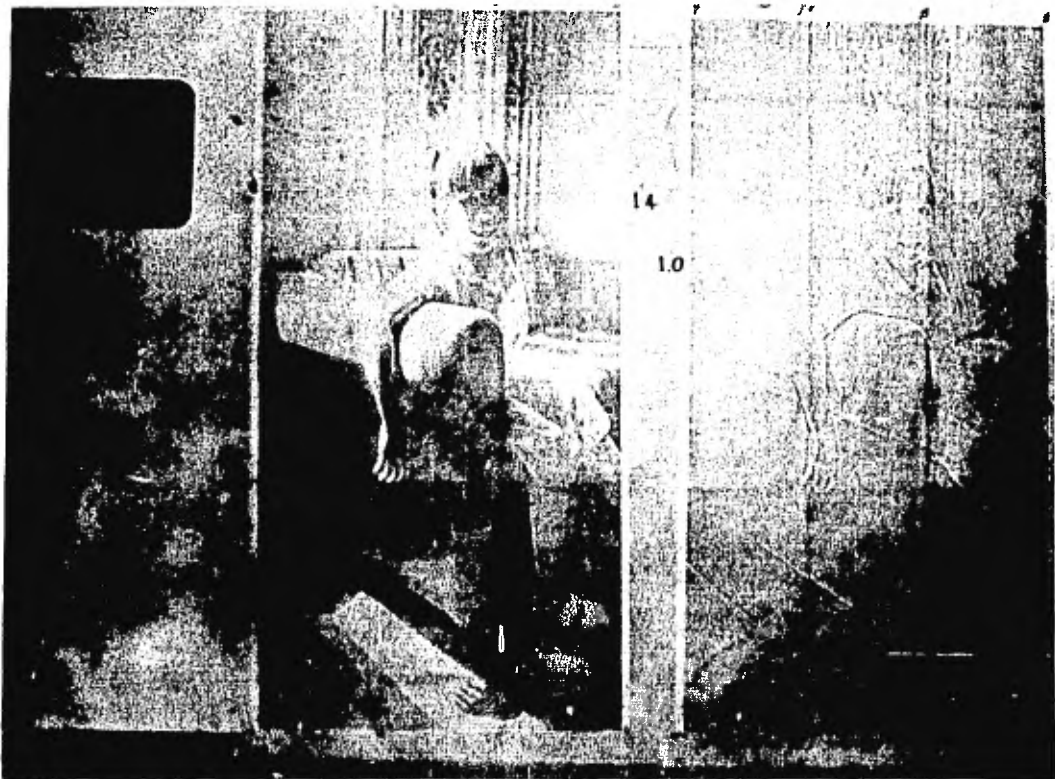
- FOTOGRAFIA 5.5 (SUPERIOR). IMPRESIONES DEL ORIGINAL (120.) Y DEL FILTRO 5 (P.R.)
- FOTOGRAFIA 5.6 (INFERIOR). - IMPRESIONES DEL ORIGINAL (120.) Y DEL FILTRO 6 (P.R.)

Para obtener las fotografías con que se ilustra a este capítulo, - las impresiones resultadas de la aplicación de los diferentes filtros se unieron tres tiras de 2 metros por 35.5 cm. de papel impreso con - cada imagen y se pegaron a una pared, donde se fotografiaron desde - una distancia de 3 metros con una exposición determinada, por una a- - pertura $f/2$ del diafragma, tiempo del obturador de $1/30$ seg. y una - lente con distancia focal de 28 mm. en película Kodak Tri-X.

En la página siguiente, se muestran las fotografías de las impresiones de las imágenes generadas con los diferentes valores asignados al coe- - ficiente α ; recordamos aquí que para esto se fijó la matriz W como la usada para el filtro 2 de la serie con la que se observaron los efec- - tos de la variación de W , habiendo fijado $\alpha = 1.5$. Por lo anterior, corresponde incluir en la siguiente serie a la fotografía 5.2 (imagen 1 derecha, página 152). Se exhorta al lector a considerarla junto con las dos fotografías siguientes para obtener una idea de los efec- - tos que sobre la imagen tiene la variación de α , con los valores 1.0, 1.4, 1.5, 1.6 y 2.0.

Con respecto al rendimiento de los algoritmos, en la tabla siguiente, se muestran los tiempos reloj, activo y CPU promedios; observados y medidos de un número representativo de ejecuciones, mediante un paquete del sistema operativo que permite llevar una contabilidad del uso y aprovechamiento de los recursos del computador. La magnitud y características de la información manejada se describen en las páginas 111 y 112. Los tiempos se dan en minutos (fracciones decimales), estos tiempos incluyen el ensamblado de cada programa.

PROGRAMA	TIEMPO RELOJ	TIEMPO ACTIVO	TIEMPO CPU	CPU/ACT.
Filtro	11.25	6.38	5.63	0.88
Rango	1.92	1.3	0.61	0.47
Histograma	2.5	1.0	0.3	0.30
Impresión	7.32	3.32	1.14	0.34



- FOTOGRAFIA 5.7 (SUPERIOR). - $\alpha = 2.0$ (IZQ.), $\alpha = 1.6$ (DER.)

- FOTOGRAFIA 5.8 (INFERIOR). - $\alpha = 1.4$ (IZQ.), $\alpha = 1.0$ (DER.)

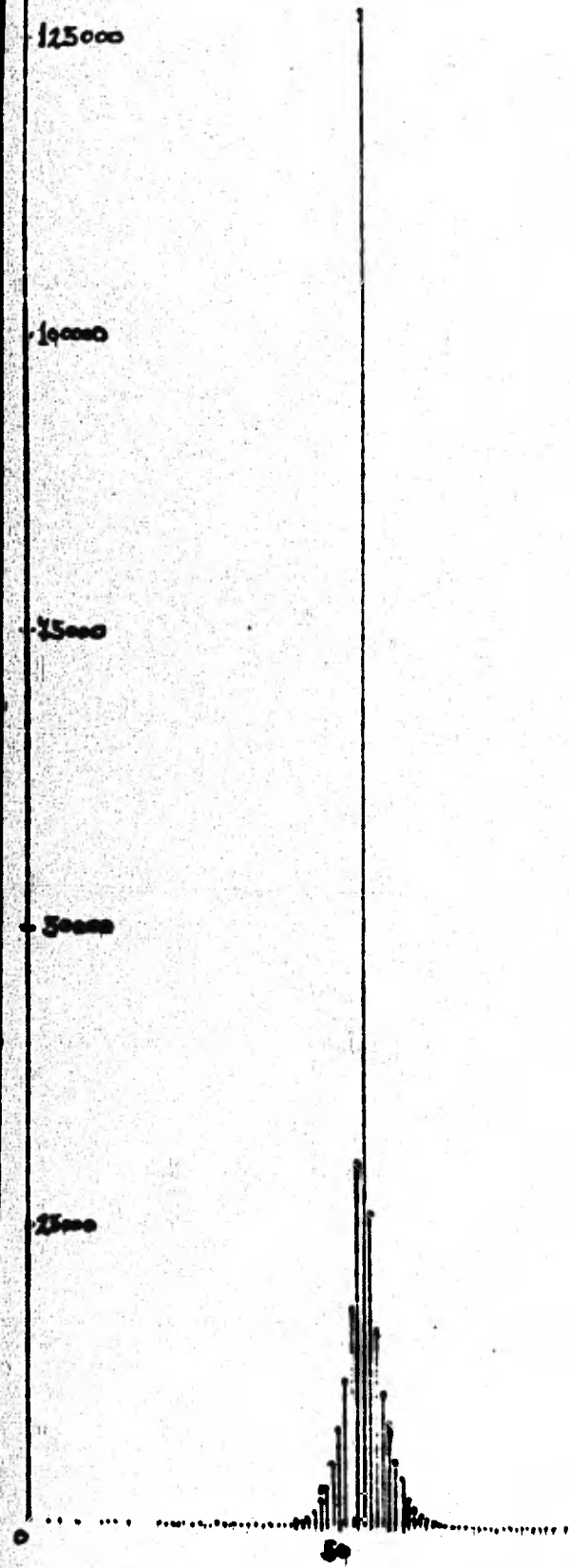
$$\alpha = 1.0$$

- Rango: $(-54, 32)$, desplazado a $(0, 86)$ para las impresiones.
- Formación de los 24 grupos:

<u>GRUPO</u>	<u>RANGO</u>	<u>NUMERO DE ELEMENTOS</u>
1	0- 43	1657
2	44	639
3	45	837
4	46	1317
5	47	2118
6	48	3423
7	49	5288
8	50	8273
9	51	12451
10	52	18547
11	53	30622
12	54	127765
13	55	26472
14	56	16526
15	57	11309
16	58	7928
17	59	5570
18	60	4027
19	61	2498
20	62	1701
21	63	1091
22	64	792
23	65	519
24	66- 86	1440
TOTAL		292810

- Esquema del histograma en la página siguiente.
- Impresión de la imagen filtrada en la fotografía 5.8.

Histograma $\alpha = 1.0$
 $N = 292810$



100

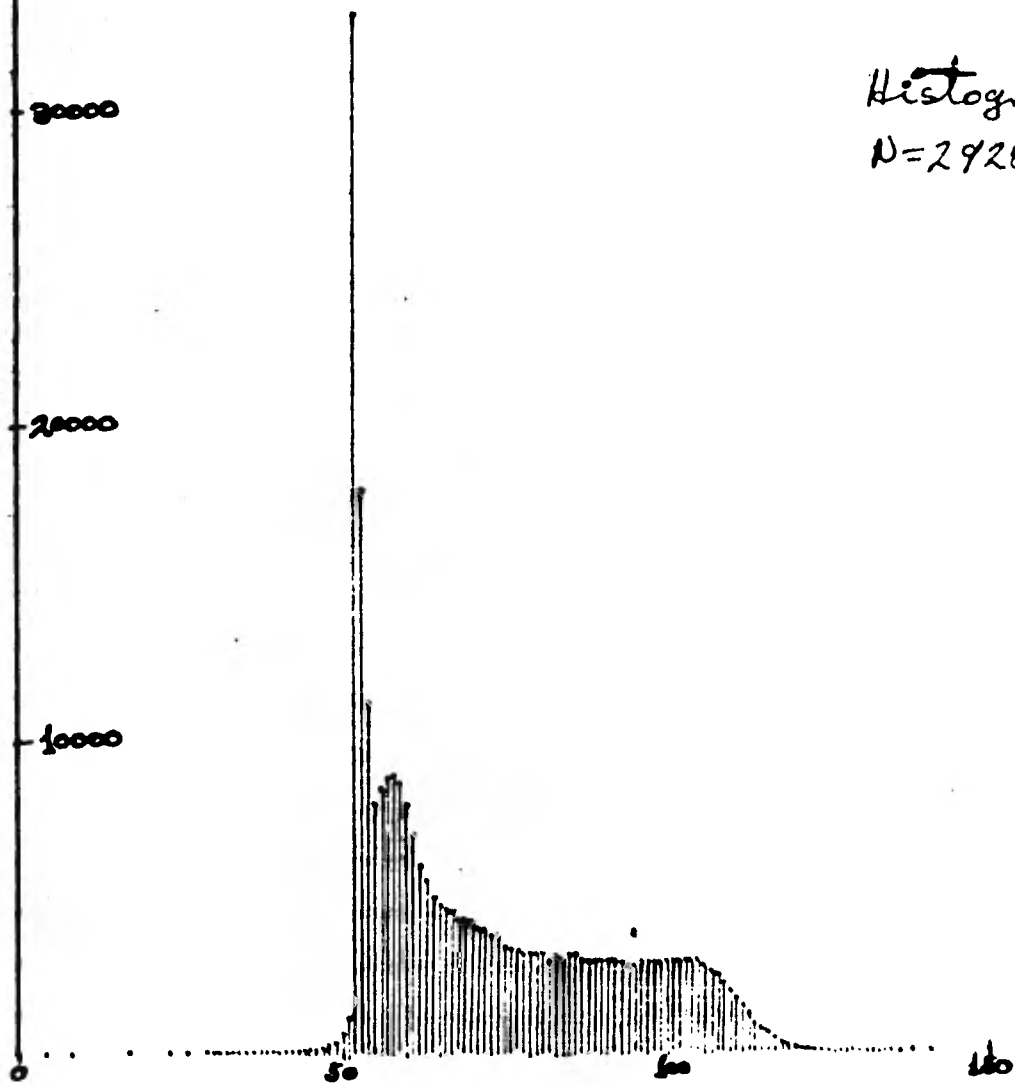
$$\alpha = 1.4$$

- Rango: (-52, 89), desplazado a (0, 141) para las impresiones.
- Formación de los 24 grupos:

<u>GRUPO</u>	<u>RANGO</u>	<u>NUMERO DE ELEMENTOS</u>
1	0- 51	3154
2	52	33045
3	53	17899
4	54	11117
5	55	7863
6	56	8352
7	57	8669
8	58	8759
9	59	8512
10	60	7851
11	61- 62	12848
12	63- 64	10392
13	65- 66	9158
14	67- 69	12809
15	70- 72	11923
16	73- 76	13861
17	77- 80	12506
18	81- 84	12111
19	85- 88	12055
20	89- 93	14531
21	94- 98	14132
22	99-103	14577
23	104-108	13803
24	109-141	12883

TOTAL: 292810

- Esquema del histograma en la página siguiente.
- Impresión de la imagen filtrada en la fotografía 5.8.



Histograma $\alpha = 1.4$
 $N = 292810$

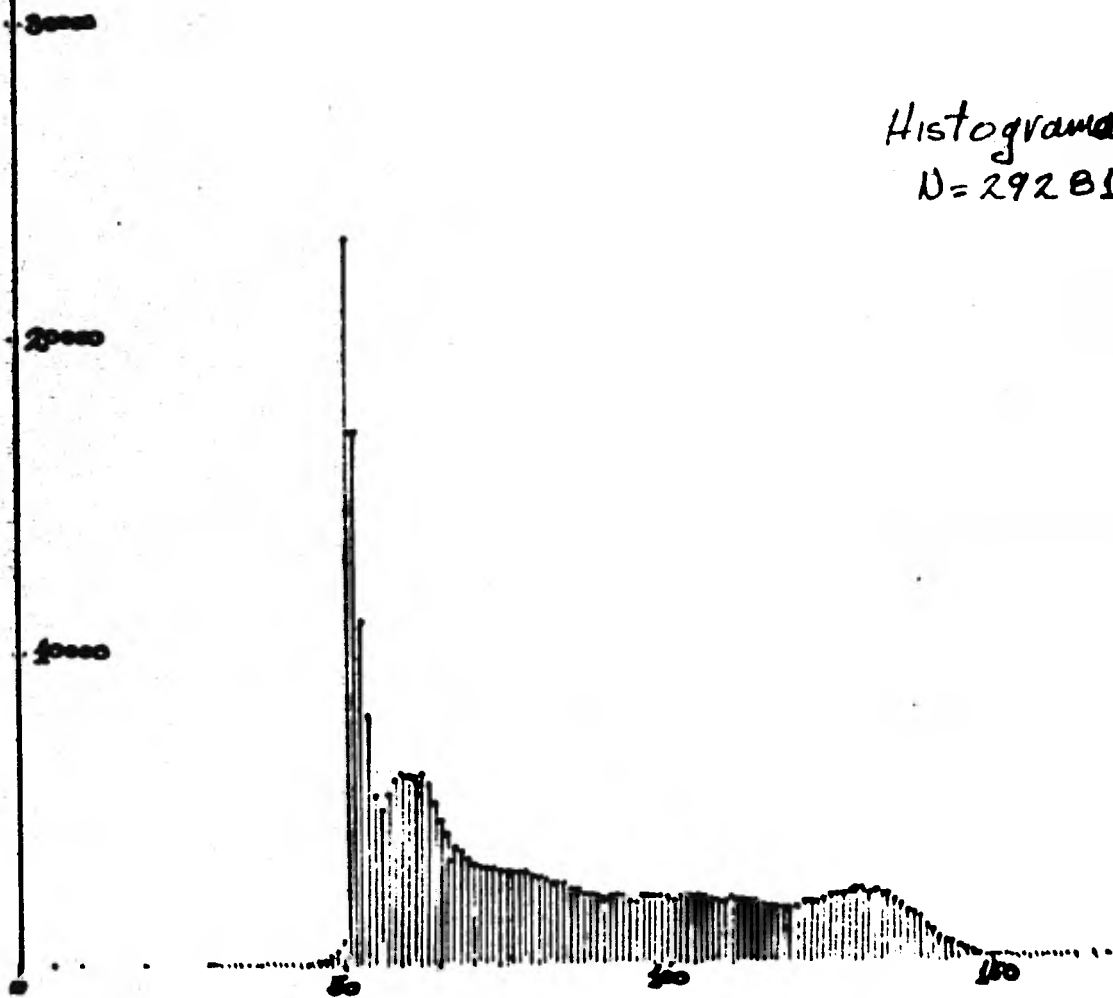
$$a = 1.6$$

- Rango: $(-51, 117)$, desplazado a $(0, 168)$ para las impresiones.
- Formación de los 24 grupos.

<u>GRUPO</u>	<u>RANGO</u>	<u>NUMERO DE ELEMENTOS</u>
1	0- 50	2138
2	51	23015
3	52	16900
4	53	10821
5	54	7830
6	55- 56	10282
7	57- 58	11203
8	59- 60	11976
9	61- 62	11990
10	63- 64	10674
11	65- 67	12314
12	68- 71	13001
13	72- 75	12001
14	76- 79	11496
15	80- 84	12870
16	85- 90	13109
17	91- 96	12204
18	97-102	12211
19	103-108	12130
20	109-115	13476
21	116-122	12492
22	123-128	12245
23	129-134	12989
24	135-168	13443

- Esquema del histograma en la página siguiente.
- Impresión de la imagen filtrada en la fotografía 5.7.

Histograma $\alpha = 1.6$
 $N = 292810$.



$$\alpha = 2.0$$

- Rango: $(-49, 176)$, desplazado a $(0, 225)$ para las impresiones.
- Formación de los 24 grupos.

<u>GRUPO</u>	<u>RANGO</u>	<u>NUMERO DE ELEMENTOS</u>
1	0- 48	1237
2	49	11915
3	50	13141
4	51	11763
5	52- 53	13921
6	54- 58	17343
7	59- 61	10141
8	62- 65	14387
9	66- 68	11285
10	69- 72	13106
11	73- 78	13722
12	79- 85	13102
13	86- 92	12696
14	93-100	13735
15	101-108	11809
16	109-119	13739
17	120-129	12145
18	130-140	13507
19	141-150	12470
20	151-162	12704
21	163-174	12633
22	175-182	11677
23	183-192	13823
24	193-225	6809

TOTAL: 292810

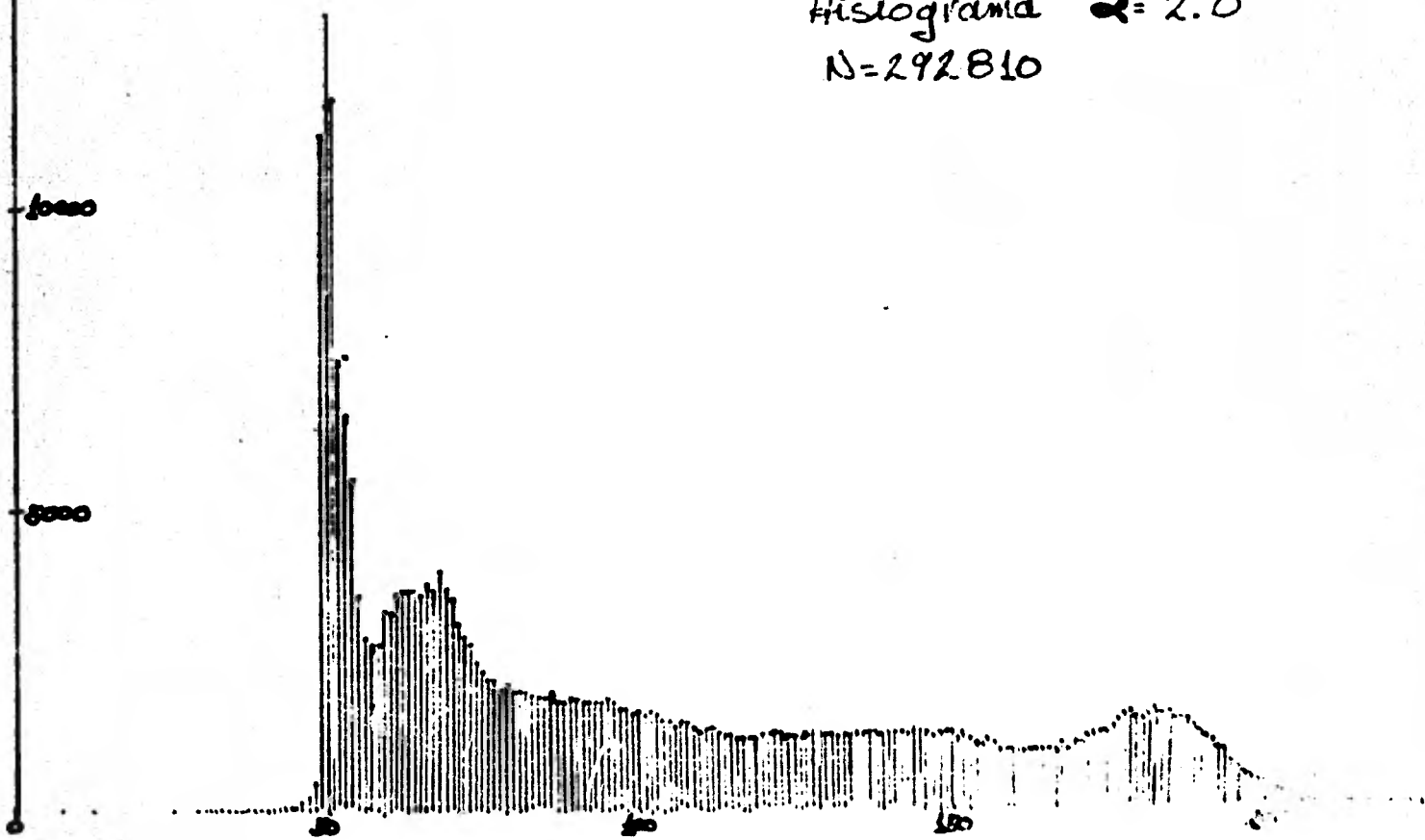
- Esquema del histograma en la página siguiente.
- Impresión de la imagen filtrada en la fotografía 5.7.

10000

5000

5000

Histograma $\sigma = 2.0$
N = 292810



CAPITULO VI

CONCLUSIONES

De los dos métodos empleados para extraer información de una misma imagen, podemos analizar los siguientes conceptos:

- Reproducibilidad
- Costo
- Versatilidad
- Calidad de la Imagen

mismos que se prestan para comparación directa.

- *Reproducibilidad.*- Esta característica es esencial si se trata de una herramienta experimental. Constituye una ventaja del método digital, ya que calibrando apropiadamente el sistema de despliegue, las presentaciones visuales de una imagen digital, aún separadas por mucho tiempo, serán exactamente iguales entre sí. En el caso de modificar una imagen digital, determinada la transformación, el resultado será siempre el mismo por tratarse de una operación matemática.

La reproducibilidad constituye una desventaja del método fotográfico, en el que aún controlando la exposición aplicada en un ciclo fotográfico, la formación de la imagen incluye factores con incertidumbres considerables, enumerando:

- i). *Temperatura y medio ambiente.*- Aún controlando en forma artificial el clima del laboratorio fotográfico, la presencia humana provoca variaciones de temperatura y humedad, las cuales afectan el proceso fotográfico.
- ii). *Envejecimiento.*- Las condiciones de almacenamiento afectan la permanencia de las emulsiones fotográficas, antes de ser expuestas o ya procesadas. Un material fotográfico varía continuamente sus características desde el momento de manu-

factura; presentando por ejemplo, rapidez distinta a una misma exposición en diferentes fechas. Así mismo, las características de una imagen fotográfica procesada varían en el tiempo; tales variaciones se deben principalmente a la acción de residuos químicos del proceso y agentes externos llevados al contacto de la imagen fotográfica. Estas variaciones pueden minimizarse controlando el proceso químico y las condiciones de almacenamiento.

- Costo.- La inversión inicial necesaria para montar un computador habilitado para el proceso digital de imágenes, es mucho mayor que la que permite disponer de un laboratorio fotográfico razonablemente equipado.

Asumiendo que se cuenta con acceso a ambos tipos de instalaciones, consideramos los costos involucrados en un ciclo de tratamiento a la imagen para cada disciplina, según lo expuesto en este trabajo.

i). Proceso Digital.- Asumiendo que se cuenta con:

- Imagen digital en cinta magnética
- Algoritmos y programas desarrollados y probados
- Acceso bajo renta a un equipo de cómputo

CONCEPTO	COSTO UNIDAD	TOTAL
30 min. reloj (equipo)	30 \$/min.	900
30 min. Sistema operativo y programas	5 \$/min.	150
50 páginas de impresión	1.50 \$/pág.	75
	TOTAL:	\$ 1,125
		=====

ii). Proceso fotográfico.- Asumiendo que se cuenta con:

- Negativo o placa con la imagen a procesar.
- Uso de laboratorio fotográfico (cuarto oscuro).
- Soluciones químicas para el proceso.

CONCEPTO	COSTO UNIDAD		TOTAL
	NEGATIVO	PLACA	
Película para hacer la máscara	(3) \$ 5	(2) \$ 100	\$ 15 \$ 200
Papel fotográfico	(2) \$ 20	(2) \$ 20	\$ 40 \$ 40
	Total c/placa		\$ 240
	Total c/negativo.		\$ 55

De lo anteriormente expuesto, se concluye que para acceder al proceso digital de imágenes, el proyecto debe contar con un presupuesto varias veces mayor que si se opta por el tratamiento fotográfico, considerando que el equipo de computación debe ser más bien mediano o grande, - por lo que, en estos términos, las técnicas fotográficas son comúnmente más accesibles que las digitales.

- Versatilidad.- El proceso digital de imágenes es muy flexible, el número de transformaciones posibles es prácticamente ilimitado y se puede aplicar la que permita extraer más eficientemente la información pertinente a cada aplicación.

Aunque el número de tratamientos fotográficos posibles es también grande, tenemos que es más limitado.

- Calidad.- Para el caso particular de este trabajo, la calidad de la imagen contribuye definitivamente en favor de la imagen fotográfica, principalmente por la distribución continua de las densidades que conforman la imagen, en comparación con la resolución de 50 micrones usada en la digitalización.

Las consideraciones anteriores se resumen en la siguiente tabla:

	IMAGEN FOTOGRAFICA	IMAGEN DIGITAL
Reproducibilidad	85%	99%
Costo	Bajo	Moderado-Alto
Versatilidad	Limitada	Ilimitada
Calidad	Excelente	Buena

Cabe aclarar que los experimentos descritos están hechos en condiciones limitadas, por lo que lo anterior aplica a dichas condiciones; - por ejemplo, usando en la digitalización una resolución del orden de 10 micrones, la calidad de la imagen digital puede ser comparable a la fotográfica, y aún superior si la digitalización original se hace directamente *in situ*, sin pasar por el medio fotográfico.

Considerando lo anterior, el investigador debe evaluar y decidir qué tratamiento es el más adecuado, según las características de cada proyecto. Encontraremos que hay aplicaciones que requieren la distribución continua; un ejemplo sería el registro de espectros finos.

- Consideraciones sobre las técnicas empleadas:

La técnica de la máscara afocal confirma el hecho de que una imagen fotográfica puede contener más información de la que podemos extraer en una impresión directa para juicio visual. Esta técnica aplica - cuando se pretende hacer evidente la información contenida en áreas de alta densidad fotográfica, en comparación al promedio de la imagen, en términos fotográficos se dice: extraer información de áreas sobreexpuestas sin perder la referencia del detalle de las densidades medias y bajas. En todas las fotografías de impresiones con máscara que se incluyen, la creciente área útil con información se debe en todos los casos a un solo ciclo:

FUENTE		PRODUCTO
Original	-	Máscara
Original + máscara	-	Impresión

En cada máscara, se aumentó la exposición para lograr un mayor contraste cada vez. En las impresiones, se procuró conservar el detalle de las facciones, lo que determinó las exposiciones mencionadas. Según algunas de las referencias citadas, se obtienen mejores resultados si se sigue el número de ciclos:

FUENTE		PRODUCTO
Original	-	Máscara 1
Original + Máscara 1	-	Copia 1
Copia 1	-	Máscara 2
Copia 1 + Máscara 2	-	Copia 2

... cuantas veces sea necesario, para lograr los resultados óptimos. De este modo, las máscaras deben ser de bajo contraste y cada nueva copia habrá reducido su contraste global. Nótese que el ciclo se tiene que aplicar un número par de veces para conservar la misma orientación de densidades del original (positivo o negativo) y un número non si se quiere una copia revertida.

En algunas aplicaciones prácticas, este método debe escogerse para obtener información de una imagen con un rango de contraste no imprimible en forma directa, debido a que la inversión y la capacitación requeridas para partir de nada son accesibles a un presupuesto moderado, más aún si se tiene acceso como particular o como miembro de institución a un laboratorio fotográfico equipado con lo mencionado en este trabajo y se invierte exclusivamente en el material empleado y la capacitación fotográfica necesaria.

Por otro lado, si el investigador tiene acceso a imágenes digitales o puede digitalizar imágenes fotográficas a propósito de su trabajo, y puede además usar un computador con algún sistema de reproducción de la imagen, debe experimentar la técnica del proceso digital de imágenes, ya que generalmente los resultados obtenidos pueden remedar lo

obtenido en un laboratorio fotográfico y aún superarlo. Además de ofrecer un mayor número de posibilidades o, como se mencionó en la comparación, flexibilidad, considerando que su proyecto lo amerita.

Para los especialistas de alguna disciplina que aplican el proceso digital de imágenes, sus instalaciones generalmente cuentan con software previamente desarrollado, existen paquetes en el mercado que ofrecen lo que pudiera necesitar prácticamente cada aplicación. Para quienes planean implementar el proceso digital de imágenes, este trabajo de tesis pretende contribuir con los algoritmos programados en ensamblador, como punto de partida o referencia para el desarrollo de un trabajo semejante, ya sea en el lenguaje empleado aquí o en uno de mayor nivel, aunque recordamos aquí que, aunque más laborioso en un principio, el ensamblador nos ofrece el mejor aprovechamiento de recursos como la memoria del computador o el tiempo de cómputo "CPU", los cuales pueden ser críticos.

Los resultados de la aplicación de los filtros es evidente de las fotografías hechas a las impresiones en papel, incluidas en el capítulo V. Aunque unas matrices se ven con mejores resultados, prácticamente todas superan al original y pudieran servir para un propósito determinado, excepción hecha de la matriz del filtro 6 que produce un efecto astigmático con pérdida de detalle; la diferencia principal de esta matriz con las demás, es que aquí los pesos relativos toman valores positivos al crecer la distancia al centro, después de haber sido negativos para distancias menores.

Para el personal gusto del autor, los filtros 2 y 5 permiten la mejor definición y contraste para este sistema de reproducción. Se observa que la información de las zonas muy iluminadas está visible, así como una gran cantidad de detalle en las zonas oscuras.

El experimento de variación del coeficiente permite confirmar que, entre los valores 1 y 2, el valor óptimo está cerca de 1.5; el autor

considera que de las impresiones hechas, la mejor es la obtenida usando el valor 1.6 (Fotografía 5.7). El juicio hecho aquí, respecto de la efectividad de las matrices y coeficientes, es subjetivo e inherente al observador, por lo que la que para una persona puede ser la mejor imagen, puede no serlo para otra; aunque generalmente las posibilidades de elección se reducen a una fracción de las muestras, ya que algunas pueden descartarse en concenso desde un principio por presentar menos calidad visual que las escogidas.

Existen dos caminos que se pueden tomar al considerar el proceso de imágenes, podemos ver a la imagen digital como un conjunto de puntos muestra discretos (lo cual es, realmente), cada uno con su importancia individual, o la podemos pensar en términos de la función continua que la imagen digital representa. La teoría aplicada está basada en el análisis de funciones continuas. Otras operaciones se piensan más fácilmente como operaciones lógicas efectuadas sobre puntos individuales. Es importante poder pensar en imágenes digitales de cualquiera de las formas mencionadas, pero sin confusión.

Dado que la imagen digital es discreta, es peligroso dejar de considerar esta característica. Frecuentemente, al pensar en modo continuo, el investigador se sorprenderá por una característica inesperada en la imagen procesada que ha sido acusada por el muestreo discreto; esto es conocido como efecto del muestreo.

Del experimento de variación del coeficiente, salta a la vista la imagen resultada de aplicar el filtro con un coeficiente $\alpha = 1$. Este caso es en el que nuestra transformación representa a un laplaciano generalizado. Se observa inmediatamente el bajo contraste y se acusan los contornos. En el caso $\alpha = 2$, se han sumado la imagen del original y aquella con $\alpha = 1$. Esto puede visualizarse chequeando las fotografías 5.7, 5.8 y cualquiera de las que muestran la imagen digital antes de aplicarle cualquier filtro (5.1 a 5.6).

Aunque el sistema de impresión empleado cumple con el propósito de - permitirnos hacer una evaluación comparativa de los efectos de la manipulación en cada imagen, se trata de una tosca improvisación, la - llamo de este modo porque una impresora de impacto, diseñada para tex - tos, se improvisó para simular una escala de grises y plasmar así las imágenes; en las fotografías puede observarse que a una distancia de 3 metros o mayor, se tiene una definición aceptable. Algunas instala - ciones cuentan con equipo adecuado para imprimir la imagen digital en una emulsión fotográfica o plasmarla en un tubo de rayos catódicos. Las imágenes generadas con este tipo de aparatos tienen, obviamente, una definición mucho mayor.

El proceso digital de imágenes constituye una herramienta científica sumamente poderosa y, aunque ha contribuido enormemente al acervo hu - mano de conocimientos, es aparente que los mayores logros están por verificarse. Aún así, la fotografía conserva un importante lugar en la investigación y es seguro que las más completas instalaciones de equipo para el proceso digital de imágenes incluyen, en su trabajo, el manejo de las variables y los materiales fotográficos.

APENDICE A

- . Representación Hexadecimal
- . Aritmética binaria

Representación Hexadecimal:

Aunque en un principio las personas involucradas con los primeros sistemas electrónicos de proceso de información y su uso requerían de un dominio absoluto del sistema binario y de la representación, que por convención adoptaba cada configuración, actualmente no es requisito para un usuario el conocimiento del binario, gracias a traductores o compiladores desarrollados desde entonces. Aunque todas las actividades lógicas y aritméticas del computador se efectúan en binario, una persona puede comunicarle instrucciones y datos en lenguaje casi llano, respetando las con ven ciones establecidas.

Aún así, estos traductores y compiladores consumen a su vez recursos del sistema (memoria real, almacenamiento magnético, tiempo, etc.), de manera que la mayor eficiencia se obtiene prescindiendo - de estos compiladores o usando uno de bajo nivel, más cercano al bi nario puro. Incluso para el mantenimiento de los mismos programas traductores, será siempre necesario el uso de rutinas lógicas que - no requieran del traductor mismo.

Para facilitar la interpretación gráfica y la operación manual de la información binaria, se convino en proponer una nueva unidad lógica de información, constituida por el arreglo de cuatro BITS (medio BYTE) y representar las 16 configuraciones posibles, según la siguiente tabla:

CONFIGURACION BINARIA	REPRESENTACION HEXADECIMAL	VALOR DECIMAL
(0,0,0,0)	0	0
(0,0,0,1)	1	1
(0,0,1,0)	2	2
(0,0,1,1)	3	3
(0,1,0,0)	4	4
(0,1,0,1)	5	5
(0,1,1,0)	6	6
(0,1,1,1)	7	7
(1,0,0,0)	8	8
(1,0,0,1)	9	9
(1,0,1,0)	A	10
(1,0,1,1)	B	11
(1,1,0,0)	C	12
(1,1,0,1)	D	13
(1,1,1,0)	E	14
(1,1,1,1)	F	15

Tabla 3.1.- Los 16 símbolos del Sistema Hexadecimal.

El Sistema de Numeración Hexadecimal es aquel en el que $B = 16$, y su analogía con la agrupación de cuatro BITS del binario permite representar gráficamente a este último y trabajarlo también con más facilidad en el aspecto aritmético.

Con los mismos ejemplos que usamos para esquematizar el binario, se interpreta a continuación el hexadecimal:

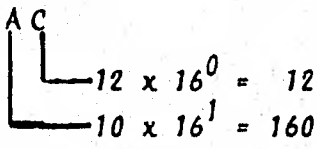
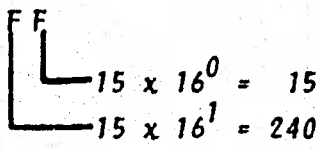
CONFIGURACION BINARIA	CONFIGURACION HEXADECIMAL	VALOR DECIMAL
(0,0,0,0,0,0,0,0)	00	CERO
(1,0,1,0,1,1,0,0)	AC  $12 \times 16^0 = 12$ $10 \times 16^1 = 160$ SUMA: 172	172
(1,1,1,1,1,1,1,1)	FF  $15 \times 16^0 = 15$ $15 \times 16^1 = 240$ SUMA: 255	255

Tabla 3.2.- Tres ejemplos de Configuración Hexadecimal.

En esta tabla puede observarse el hecho de que un BYTE está constituido por 2 dígitos hexadecimales.

*Aritmética Binaria:**- Adición:*

ADICION	ARRASTRE AL SIGUIENTE MAYOR ORDEN
$0 + 0 = 0$	0
$0 + 1 = 1$	(1 + 0) 0
$1 + 1 = 0$	1

Tabla 3.3.- Reglas de la Adición Binaria.

- Sustracción:

SUSTRACCION	ARRASTRE AL SIGUIENTE MAYOR ORDEN
$0 - 0 = 0$	0
$0 - 1 = 1$	-1
$1 - 0 = 1$	0
$1 - 1 = 0$	0

Tabla 3.4.- Reglas de la Sustracción Binaria.

- Signo: Una vez dada la longitud de BITS de un dato, el BIT que ocupa la posición de mayor orden determina el signo de la cantidad representada, según la tabla siguiente; esta convención es llamada complemento de dos.

BIT DE MAYOR ORDEN	SIGNO
0	(+) POSITIVO.
1	(-) NEGATIVO.

Tabla 3.5.- Convención del Signo.

Según lo anterior, el máximo número representable con media palabra (2 BYTES) es:

$$0111 \ 1111 \ 1111 \ 1111 = \sum_{j=0}^{14} 2^j = +32767$$

puede mostrarse que el menor sera:

$$1000 \ 0000 \ 0000 \ 0000 = -32766$$

nótese que se conserva la cantidad de $2^{16} = 65536$ posibles representaciones diferentes; la lectura de un número negativo se hace siguiendo la receta del siguiente ejemplo:

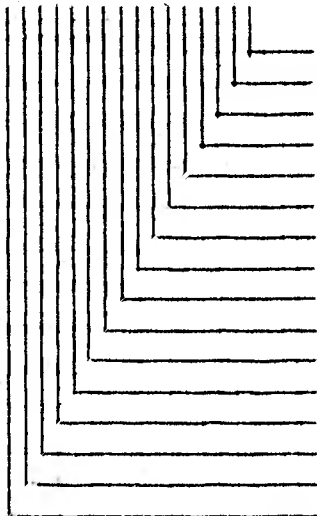
$$1111111000100101 = -475?$$

réstese 0000000000000001 :

$$1111111000100100$$

inviértanse todos los valores:

$$0000000111011011$$



- 1
- 2
- 0
- 8
- 16
- 0
- 64
- 128
- 256
- 0
- 0
- 0
- 0
- 0
- 0
- 0

SUMA: 475, Signo Original: Negativo.

De esta manera, aunque se definen las reglas de la sustracción para completar el sistema y permitirnos la verificación de los resultados de la aritmética binaria, el computador puede efectuar una resta, sabiendo cómo sumar y cómo cambiar signos.

Para identificar el signo de una cantidad en binario, es necesario conocer la medida en BITS de dicha cantidad; para identificar completamente cada arreglo dentro de un conjunto de unidades de información, basta con especificar la posición relativa al principio del conjunto total y la longitud en BITS de dicho arreglo al que llamaremos campo.

La especificación de una posición relativa y una longitud se reconoce como direccionamiento y permite hacer una subdivisión del total de unidades de información disponible en campos de capacidad apropiada y tener acceso a ellos.

Para el equipo empleado en este trabajo, el direccionamiento mínimo se hace a subgrupos de ocho BITS (un BYTE). La dirección de un campo de información debe especificarse cuando se intenta manipularlo de alguna forma.

APENDICE B

El lenguaje ensamblador, es el lenguaje de más bajo nivel antes del binario puro, el formato de los comandos consta de tres partes principales:

- Etiqueta o Símbolo
- Código de Operación
- Operandos

La etiqueta es un nombre usado para identificar la dirección en la memoria, de una instrucción, una constante o un área determinada. Al hacer referencia a una etiqueta en una instrucción, el compilador usa la dirección donde se definió esta etiqueta. El nombre usado debe ajustarse a las siguientes restricciones, 8 caracteres como máximo, primer carácter alfabético, ausencia de caracteres especiales y blancos intermedios.

El código de operación es una representación mnemónica de la instrucción ejecutada por este comando y, generalmente, su forma tiene una relación con el nombre descriptivo de la instrucción que representa, ejemplos:

CODIGO	NOMBRE DESCRIPTIVO
AR	ADD REGISTERS (SUMA REGISTROS).
CL	COMPARE LOGICAL (COMPARACION LOGICA).
CVD	CONVERT TO DECIMAL (CONVERSION BINARIO A DECIMAL).

Aunque algunas instrucciones especiales no necesariamente tienen que llevar operandos, generalmente, la instrucción en Assembler lleva de uno a tres parámetros u operandos; los formatos de las instrucciones y sus operandos se clasifican en cinco grupos principales que son:

1. Formato RR (Registro a Registro).
2. Formato RS (Registro a Memoria).
3. Formato RX (Registro a memoria \neq índice).
4. Formato SI (Inmediato a Memoria).
5. Formato SS (Memoria a Memoria).

El estatuto simple del ensamblador es codificado en un registro de 80 caracteres (herencia de las tarjetas perforadas de las primeras épocas de la computación electrónica), según los siguientes lineamientos:

La etiqueta debe comenzar en la posición 1 y puede extenderse hasta la posición 8. El código de operación debe comenzar en la posición 10 y puede extenderse hasta la posición 14 (5 caracteres de longitud máxima). El primer carácter del primer operando debe comenzar en la posición 16. Según esto, las posiciones 9 y 15 garantizan cuando menos un carácter blanco entre la etiqueta y el código de operación y entre éste y el primer operando. Una herramienta valiosa en la documentación de un programa en ensamblador son los comentarios que pueden ser de uno de dos tipos, dejando un carácter blanco después de el último carácter del último operando y escribiendo el comentario a continuación o escribiendo un asterisco (*) en la posición 1, seguido de un carácter blanco con el comentario a continuación. En los programas que se describen en el cuarto capítulo, pueden verse ejemplos de estos dos modos de incluir comentarios.

El lenguaje ensamblador cuenta con, aproximadamente, 200 instrucciones sencillas; dado que no es el propósito de este trabajo introducir al lector en la programación en ensamblador, no se describirán todas las instrucciones empleadas, salvo casos contados; para una consulta detallada, puede leerse una de las referencias en la bibliografía del final, principalmente, en el texto de Stabley.

Cabe hacer notar, sin embargo, que el término registro se usa indistintamente para referirse a dos cosas diferentes; por un lado, se abrevia así el nombre de registro general que identifica una de 16

localizaciones de memoria reservadas de cuatro BYTES de longitud (una palabra) cada una, y especialmente orientadas para comandos de instrucciones del ensamblador y, principalmente, como base en direccionamientos. Por otro lado, llamamos registro a un número de BYTES que confirman la unidad de transferencia, de grabación o lectura, hacia o desde un dispositivo de almacenamiento de información.

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO II.

1. Arnold, Rolls y Stewart,
"APPLIED PHOTOGRAPHY"
Focal Press Ltd. (1971).
2. "ENCYCLOPEDIA OF PRACTICAL PHOTOGRAPHY"
Eastman Kodak Company
Amphoto. (1977).
3. "KODAK PLATES AND FILMS FOR SCIENTIFIC PHOTOGRAPHY"
Eastman Kodak Company
Publicación P-315 (1973)
4. Larmore, Lewis
"INTRODUCTION TO PHOTOGRAPHIC PRINCIPLES"
Dover Publications, Inc. (1965).
5. Walls, H. J. y Attridge, G. G.
"BASIC PHOTO SCIENCE"
Focal Press Ltd. (1977).

CAPITULOS III y IV.

6. "IBM 4300 PROCESSORS PRINCIPLES OF OPERATION FOR
ECPS: VSE MODE"
IBM Co. (1980)
7. Stabley, Don H.,
"LOGICAL PROGRAMMING WITH SYSTEM/360"
John Wiley & Sons, Inc. (1970)

CAPITULO III.

8. Castleman, K. R.
"DIGITAL IMAGE PROCESSING"
Allan V. Oppenheim, Editor. Prentice-Hall, Inc. (1979).
9. Huang, T. S.; Editor. "TOPICS IN APPLIED PHYSICS"
Volumen 6: "PICTURE PROCESSING AND DIGITAL FILTERING" (1975)
Capitulo 1: Huang T. S., INTRODUCCION.
Capitulo 4: Read, Shanks y Treitel, "TWO DIMENSIONAL
RECURSIVE FILTERING".
10. Hunt, B. R., "DIGITAL IMAGE PROCESSING"
Digital Image Processing for remote sensing, IEEE Press
(1978).

CAPITULO IV.

11. "CREATIVE DARKROOM TECHNIQUES"
Eastman Kodak Co. (1975).
12. Lightfoot, Dale
"MAKING THE MOST OF BLACK-AND-WHITE ASTRO-NEGATIVES"
Astronomy, Vol. 10, No. 1, Ene. 1982.
13. Malin, David F. (Anglo-Australian Observatory)
"EXPLORING THE IMAGE"
Astronomy, Vol. 7, No. 11, Nov. 1979.
14. Malin, David F.
"IMPROVED TECHNIQUES FOR ASTROPHOTOGRAPHY"
Sky & Telescope, Vol. 62, No. 7, Jul. 1981.

CAPITULO V.

15. Hahn, S. y Mendoza E.
"SIMPLE ENHANCEMENT TECHNIQUES IN DIGITAL IMAGE
PROCESSING"
(En prensa).

16. COLORMATION C-4500 Manual del Usuario
Optronics Int., Inc.