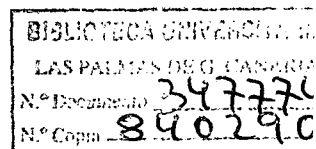


TESIS DOCTORAL
PROCESO Y EXTRACCION DE PROPIEDADES CROMATICAS
EN FORMAS VISUALES
DESARROLLO DE UN SISTEMA Y APLICACIONES

Autor: Antonio Falcón Martel
Director: Roberto Moreno Díaz

Escuela Técnica Superior de Ing. Industriales
Universidad Politécnica de Las Palmas

Noviembre, 1.983



A Angela

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no habría sido posible sin la apreciada e inestimable colaboración del Dr. Roberto Moreno Díaz, a quien estoy profundamente agradecido por el apoyo y confianza en mí depositados.

Agradezco la colaboración y ayuda de todos los miembros de la Escuela Universitaria de Informática y del Departamento de Cibernética del C.U. de Las Palmas, los cuales de una forma u otra han hecho posible este trabajo.

Asimismo, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a los miembros del Departamento de Electrónica y Automática de la E.T.S.I.I. de Las Palmas, en especial a mi compañero y amigo Juan A. Nédez por su importante colaboración y sus valiosas sugerencias.

INDICE GENERAL

=====

RESUMEN.

I. FORMULACION Y CLASIFICACION CROMATICAS.

1.1	Introducción.....	16
1.2	Formulación Generalizada de los Espacios-Color.....	25
1.3	Teoria Clásica y Sistemas de Referencia.....	41
1.4	Bases Teóricas de la Clasificación Cromática.....	51

II. ADQUISICION Y PRESENTACION DE IMAGENES EN B/N Y COLOR.

2.1	Introducción.....	61
2.2	Miniordenador y Subsistema de Display.....	71
2.3	Subsistema de Adquisición de Imágenes.....	75
2.3.1	Digitalizador.....	75
2.3.2	Interface de Control.....	77
2.3.3	Circuitos de Adaptación de Señal.....	82
2.3.4	Camara TVC e Iluminación.....	84
2.4	Proceso de adquisición.....	87
2.5	Software de control y adquisición.....	92
2.5.1	Perturbaciones de Cámara y Distorsiones.....	92
2.5.2	Programas de adquisición.....	103
2.6	Sistemas de Presentación.....	113

2.6.1	Planteo general del problema.....	113
2.6.2	Errores.....	123
2.6.3	Software de Presentación.....	128
2.6.3.1	Programa PRFOTO.SR.....	150
2.6.3.2	Programas PRT101.SR y PRT102.SR.....	163
2.6.4	Diagramas de frecuencia de ocurrencias.....	171
2.6.5	Sistemas de presentación en color.....	183
III. PROCESO Y RECONOCIMIENTO EN ESPACIOS CROMATICOS.		
3.1	Preproceso.....	194
3.1.1	Introducción.....	194
3.1.2	Umbralización.....	196
3.2.2.1	El proceso de umbral como clustering..	199
3.1.3	Filtros lineales espaciales.....	221
3.1.3.1	Filtros No recursivos.....	222
3.1.3.2	Aplicaciones a filtros clasicos.....	230
3.1.4	Transformaciones Cromáticas elementales....	235
3.1.5	Detectores Cromáticos.....	240
3.1.6	Tratamiento de imágenes ruidosas.....	250
3.2	Segmentación.....	256

3.2.1	Definición y aplicaciones primarias.....	256
3.2.2	Estructuras de datos.....	278
3.2.2.1	Grafo de regiones adyacentes.....	278
3.2.2.2	Pirámides y árboles.....	280
3.2.3	Segmentación Jerárquica.....	286
3.3	Reconocimiento.....	292
3.3.1	Transformaciones Standard y Normalización..	292
3.3.2	Enmascaramiento.....	299
IV. CONCLUSIONES Y PRINCIPALES APORTACIONES.		
V. REFERENCIAS.		
(En Volumen Aparte)		
VI. APENDICES.		
6.1	Ecuaciones y Resultados.....	325
6.1.1	Demostraciones	326
6.1.2	Invariantes.....	331
6.1.3	Resultados.....	333
6.2	Programas.....	342

RESUMEN

=====

En el capítulo primero del presente trabajo se analizan algunos de los aspectos del proceso visual de interés para procesos de control donde se emplee el feedback visual. Se parte de una imagen considerada como una función $f_i(x,y,\lambda,t)$, que representa a una escena particular. Esta función permite generar un espacio de entradas de los elementos sensores implicados en el proceso en cuestión, y es posible caracterizar el mismo a partir del correspondiente espacio de salidas. Se define un espacio de color de "m" coordenadas genéricas a partir de algunas simplificaciones, las cuales permiten definir los conceptos diferenciadores del color en relación con su espacio de entradas. En este espacio m-dimensional es posible establecer expresiones para algunas sensaciones perceptivas como las de tinte brillo o saturación. Se enlaza el problema de la descripción cromática de una imagen con el de reconocimiento de formas, de manera que, a partir de unos descriptores simples de la radiación incidente se describa cromáticamente una imagen.

En general, los sistemas de visión actuales pueden dividirse en dos grupos. Por un lado se

encuentran aquellos sistemas diseñados de acuerdo con una aplicación concreta para trabajar en un contexto delimitado. Por otro lado se encuentran los sistemas universales, de utilidad en situaciones y circunstancias varias. En ambas clases de sistemas la incorporación y uso del color proporciona una herramienta útil en las primeras etapas de tratamiento, pues simplifica las estructuras de preproceso y segmentación de escenas. Además el uso de factores cromáticos permite la generación a múltiples aplicaciones de los sistemas dotados de elementos de visión, así como su adaptación a circunstancias diversas.

En el capítulo segundo se ha desarrollado un sistema de adquisición de imágenes color basado en un miniordenador tipo Nova de 16 bits con 10 Mb en disco. Este miniordenador gestiona la adquisición y presentación de imágenes y se encuentra conectado, para tratamiento masivo de la información, con un ordenador HP3000. El conjunto interface-cámara miniordenador posibilita la adquisición de las tres componentes de la imagen en color como tres tomas monocromáticas, para lo que utiliza un sistema de adquisición monocanal que alimenta a un digitalizador sucesivamente con las señales Y,R,B previamente adaptadas de manera que conformen una señal de video

normalizada. Para realizar las diferentes tomas se dispone de un multiplexor controlado por el miniordenador que permite seleccionar en cada caso la componente deseada. En el proceso de adquisición de una imagen se direcciona a cada punto de la misma a partir de sus coordenadas, realizándose un barrido completo de toda ella. Para ello se dispone de una unidad de control que efectúa la interface entre los buses del miniordenador y los circuitos de adaptación de señal. Se utiliza una cámara de color comercial, accediéndose al conjunto de señales antes de la generación de la señal compuesta de video, lo que permite la obtención de las componentes de color en forma no modulada. Para tener compatibilidad en el uso del sistema en el proceso de señales en el que sólo existen tonos de gris sin tener que sintetizar la luminancia por software, no se realizan las tomas R,G,B sino que se adquieren R,B e Y y por procesamiento posterior se obtiene la componente R.

Para el control del multiplexor durante el proceso de adquisición se envían por uno de los puertos del miniordenador las señales que permitirán direccionar la interface como periférico convencional y controlar en cada caso la digitalización de la señal que se este procesando.

Para presentación de imágenes se utiliza una impresora Printonix que por densidad local de puntos permite reproducir las imágenes procesadas. La forma de presentación esta organizada en pixels de 6x6 o de 3x3 puntos usando metodos de interpolación de forma que a cada subpixel de la imagen se le asocia en la reconstrucción un promediado segun una cierta ley de los valores de los pixels contiguos. Se dispone además de una impresora Prims 132, conectada al HP3000, para la cual se ha desarrollado el software de presentación de imágenes en color real. Los programas de adquisición realizan la toma de imágenes de 128x116 puntos por muestreo y digitalización en 256 niveles. Bajo control del miniordenador, se realizan tres barridos de la imagen empaquetandose toda la información en palabras de 16 bits, de forma que se destinen 8 bits a la luminancia y cuatro a cada una de las componentes cromáticas significativas.

Se han realizado también estudios sobre los sistemas de presentación de imágenes tanto en B/N como en color. La implementación de estos incorpora procesos interpolativos aumentando la calidad de reproducción de las imágenes. Se ha estudiado el efecto perceptivo que ejerce la adición de ruido de nivel análogo al de cuantización a imágenes

cuantizadas en pocos niveles. Además de los programas de adquisición se han desarrollado otros para corregir deformaciones motivadas por la naturaleza del tubo y la óptica de la cámara, para evitar errores de medida.

Además de las anteriores perturbaciones existen otras producidas por causas de distinta índole; unas ajenas al sistema de adquisición, como iluminación y ruidos externos y otras originadas por la inducción de ruido debido a componentes frecuenciales del propio sistema. En el capítulo tercero se han desarrollado técnicas de preproceso que conducen a la imagen o segmentos de la misma a situaciones standard, para facilitar su identificación, que incluyen operaciones lineales y no lineales. Se analiza en primer lugar la operación de umbralización y los distintos métodos para encontrar el valor adecuado de umbral. Particularmente se hace énfasis en las metodologías resultantes de la aproximación del diagrama de ocurrencias de niveles de señal en la imagen a distribuciones conocidas, polinomios de tercer y cuarto orden, gaussianas, ect.. También se aplican a la componente espacial de las imágenes adquiridas algunos filtros lineales clásicos, además de otros tratamientos que incorporan naturaleza marcadamente no lineal, como lo son los filtros de

"average" no lineal y los filtros mediana. En escenas complejas que involucren a un conjunto de piezas u objetos, se recurre a su aislamiento mediante algoritmos basados en criterios de conexidad espacio-cromática. Las distintas componentes de color en una imagen Y,R,B motivan la creación de un espacio de color tridimensional. En este espacio cada punto P de la imagen tiene asociado, además del correspondiente par de coordenadas espaciales X_p, Y_p , otro conjunto de tres coordenadas $Y_p, B_p - Y_p, R_p - Y_p$. Se realizan operaciones en dos espacios, el espacial o restrictivo $V_s(x,y)$, y el cromático o descriptivo $V_c(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$. En $V_c(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ pueden efectuarse transformaciones de manera tal que se acentúen determinadas características de la imagen o segmento de la misma.

También en estos dos espacios se pueden realizar operaciones de segmentación escalonadas que faciliten la separación de las distintas partes o segmentos de la escena, y dentro de estas la extracción de características de las mismas.

Una vez aislados los segmentos se han ensayado algunas técnicas de reconocimiento, basadas en el empleo de máscaras y en criterios de semejanza que toman como índice el error cuadrático. Finalmente se

exponen las conclusiones del presente trabajo.

I. FORMULACION Y CLASIFICACION CROMATICAS

=====

1.1 INTRODUCCION

=====

Como es bien sabido, la luz visible es una radiación electromagnética con un rango de frecuencias centrado sobre los $5 \cdot 10^{14}$ Hz. El sistema visual humano, en condiciones habituales de iluminación, puede percibir radiaciones cuyas longitudes de onda se encuentran comprendidas entre las 350 y 780 milimicras.

Una fuente física de luz puede ser caracterizada por la distribución espectral de la energía radiante $X(\lambda)$ que emite. Esta puede modificarse después de su acción sobre los objetos los cuales podrán reflejar la energía que les llega en una cierta medida, o transmitirla, generandose nuevas distribuciones de energía que dependerán de las propiedades de reflectancia $R(\lambda)$ y de trasmisividad $T(\lambda)$ de los objetos, de manera que como resultado de este proceso de interacción entre radiación luminosa y objetos resulta una nueva distribución espectral de energía $X'(\lambda)$, que, prescindiendo de efectos espacio temporales en sentido restrictivo, puede expresarse

elementalmente en cada caso por:

$$X'(\lambda) = R(\lambda) X(\lambda)$$

$$X''(\lambda) = T(\lambda) X(\lambda)$$

(1.1)

Un observador humano percibe esta energía que le llega de los objetos y de las fuentes de luz, y según la naturaleza de la misma, se provocan determinado tipo de sensaciones. Son múltiples los ejemplos de estas. Basta mirar a nuestro alrededor para observar como existen un elevado número de características de los cuerpos que componen el entorno cotidiano que son adquiridos por nuestro sistema visual. Innumerables teorías han intentado explicar el fenómeno de la visión como resultado de la transformación de la energía luminosa en otras formas de energía susceptibles de ser tratadas por el sistema nervioso humano. Lo que resulta evidente es que la luz no actúa directamente sobre las neuronas a menos que existan en ellas o anexas a las mismas elementos que posean sustancias coloreadas que absorban la radiación en distinto grado y provoquen una reacción química excitatriz. Como el carácter esencial de la visión es su extraordinaria selectividad en función de la longitud de onda, pueden eliminarse fenómenos térmicos y mecánicos, y se admite universalmente que

los impulsos nerviosos motivados por la excitación luminosa del sistema visual humano están originados por las absorciones de la luz incidente que realizan ciertos pigmentos coloreados de las células receptoras.

Como resultado de la acción de las fuentes luminosas de energía radiante podemos percibir a través de nuestros elementos de visión aspectos espaciales de la realidad que nos rodea, las formas presentes en la misma y otras características importantes en el normal funcionamiento de la actividad humana, como son las variaciones temporales, la textura o el color.

Sin embargo, estas observaciones provocan indefectiblemente algunos importantes interrogantes, entre ellos si realmente la distribución espectral de la energía es suficiente para explicar las diferencias de percepción o que descriptores adecuados nos permiten explicar la interacción cerebro-medio mencionada. Lamentablemente no es posible realizar un análisis armónico puro de la radiación electromagnética. No obstante pueden explicarse algunos fenómenos, tales como los relativos a la percepción del color en base a su distribución espectral. Por ello vamos a analizar

brevemente la naturaleza de esta energía luminosa. Un cuerpo que existe a una elevada temperatura radia energía en cantidades proporcionales a su temperatura. El radiador ideal (cuerpo negro) se define para una temperatura T, consecuentemente con la afirmación antes expresada, como aquel cuyo flujo radiante es el máximo que se puede obtener a esa temperatura. Su distribución espectral viene dada por la ley de Planck:

$$X^n(\lambda) = 2.39 \cdot 10^{-11} / \lambda^5 (\exp(1.432/\lambda T) - 1)$$

De la cual sólo una reducida parte cae dentro del visible donde la distribución espectral es aproximable por la ley de Wien :

$$X^n(\lambda) = 2.39 \cdot 10^{-11} / \lambda^5 \exp(1.432/\lambda T)$$

La energía que emite un cuerpo negro según la ley de Boltzman es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta y de ella se encuentra en la zona del visible:

$$E_{\text{VIS}} = \int_{3.5 \cdot 10^{-5}}^{7.8 \cdot 10^{-5}} X^n(\lambda) d\lambda$$

Sin embargo de toda esta energía sólo una pequeña parte es visualmente efectiva. La medida de la eficiencia luminosa se ha establecido en base a funciones de luminosidad obtenidas en distintas

condiciones de iluminación (fotópica y escotópica) y estandarizadas por el Committee on Colorimetry of the Optical Society of America (1963) y que pueden ser consideradas como la curva de respuesta espectral $\bar{Y}(\lambda)$ de un observador humano promedio, la eficiencia luminosa se define entonces como:

$$K = (64.77/T^4) \int_{3.5 \cdot 10^{-5}}^{7.8 \cdot 10^{-5}} \bar{Y}(\lambda)/\lambda^5 (\exp(1.432/\lambda T) - 1) d\lambda$$

Computada por Dorn et al. [27] y reflejada en la figura 1.1 donde se observa que la energía emitida por debajo de 1500 K prácticamente no es considerada.

Para hacer posible la visión de un objeto cualquiera es necesario que la energía radiante que proviene del mismo atraviese los medios oculares e incida sobre la retina desencadenándose reacciones fotoquímicas que provocan corrientes nerviosas las cuales se transmiten al cerebro a través del nervio óptico, en cuya corteza visual tienen lugar los fenómenos psíquicos de la visión. De valores teóricos [56] el flujo luminoso en lux que incide sobre la superficie retiniana es:

$$E_r = 0.36 L S \tau_\lambda$$

Donde L representa la luminancia (cd/m), S designa la superficie media de la pupila y τ_λ es el

factor espectral de transmisión de los medios transparentes (Cristalino y humores) que preceden a la retina. Este último término presenta algunas dispersiones pues depende de las características de los sujetos sobre los cuales se realicen las medidas. Lo que si parece ocurrir es que debido al grado de absorción de estos elementos se produce una variación en la composición espectral de la imagen incidente a la superficie de la retina. Para las longitudes de onda más elevadas en el visible (sobre 500 nm.), la absorción esta determinada por el agua contenida en el medio ocular. Prácticamente toda la energía sobre 1400 nm. es completamente absorbida y convertida en energía térmica. Para longitudes de onda inferiores a 500 nm el agua es transparente a la radiación electromagnética, aunque se producen fenomenos de absorción debidos a otros componentes. En particular la absorción de la córnea y el cristalino no dejan casi pasar longitudes de onda inferiores a 300 nm., El cristalino es el medio principal que afecta a la distribución espectral de la luz, incrementando la absorción sobre 500 nm., Consecuentemente, esta lente aparece amarilla al iluminarse con luz blanca, fenómeno que se acentua con la edad [91].

La retina posee dos clases de elementos fotosensibles, conos y bastones de propiedades y

distribuciones distintas. Se ha podido comprobar la existencia en los bastones de un pigmento fotosensible dispuesto en conchas estratificadas en los segmentos externos de los bastones, denominado "púrpura retiniana" que ha sido bastante estudiado [84] y actualmente se le conoce muy bien gracias a los trabajos de Wald [111]. La "púrpura retiniana" también denominada rodopsina es una cromoproteína constituida por la unión de una proteína, la opsina, de masa molecular elevada y un grupo aldehído de la vitamina A, el retinal. Al incidir la radiación luminosa sobre una molécula de rodopsina se pueden producir diversos efectos según la intensidad de la energía de esta. Si es débil se produce el paso de la molécula de retinal de la forma CIS a la Trans (FIG 1.2) , proceso de isomerización que produce una variación de potencial a nivel de la fibra eferente del receptor. Seguidamente tiene lugar el proceso inverso y se genera de nuevo la forma cis del retinal. Contrariamente, si existe una fuerte excitación luminosa o una débil extensamente prolongada, la reconstrucción de la rodopsina se produce a partir del retinol (Vitamina A). Existe una gran similitud entre las curvas de absorción de la rodopsina y las curvas de visibilidad escotópica, que confirman que en condiciones de iluminación escasa los bastones soportan un peso elevado de la misma.

En el centro de la retina esta la zona foveal (4), la cual contiene la máxima densidad de conos. Estos poseen pigmentos fotosensitivos cuya naturaleza fue estudiada primariamente por Stiles [103] y comprobada por diversos métodos [84],[13], son de tres tipos y son selectivos a determinadas zonas del espectro. Reciben los nombres de erythrolable, clorolable y cyanolable. Los conos parecen sólo operar en visión fotópica con condiciones de luz medias y su densidad decrece conforme nos alejamos de la zona foveal. A medida que disminuye esta aumenta la correspondiente de bastones, alcanzando su máximo a unos 20° , para luego bajar hasta los 40° . Los bastones, como se indicó, son los que se encargan de la visión en condiciones de iluminación desfavorables en las que los conos actúan muy poco. Por ello se produce un desplazamiento hacia la izquierda de la curva standard de visión escotópica respecto de la fotópica desplazandose el máximo de 560 nm a 507 nm. [11].

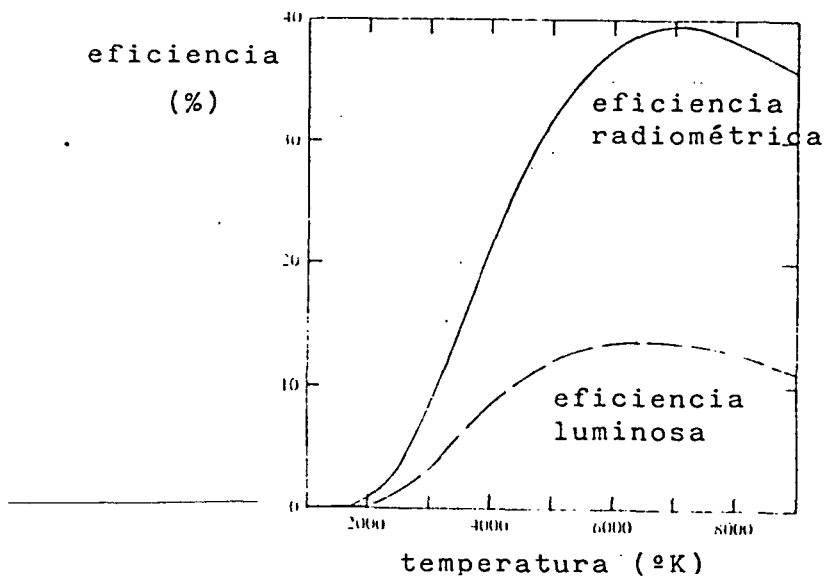


FIG I.1 Curva de efectividad luminosa.

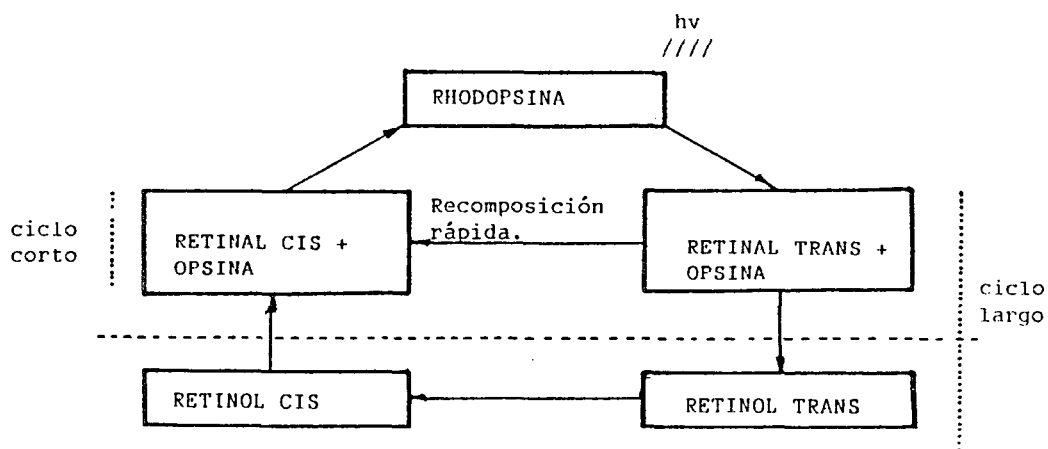


FIG I.2 Ciclo de transformación de la rodopsina.

1.2 FORMULACION GENERALIZADA DE LOS ESPACIOS-COLOR

=====

Varios son los atributos conocidos de la percepción visual, formas textura, color, duración, brillo, etc., que involucran tanto aspectos espacio-temporales como espectrales en un sentido restrictivo, de forma que la descripción de la imagen que emerge de una escena debe contener intrínsecamente la información necesaria para poder describir los fenómenos perceptivos señalados. Esta información analizada por los sensores implicados en el proceso visual conduce a respuestas de rango superior que suponen sistemas de proceso de naturaleza elaborada.

Consideremos que una imagen es el resultado de la incidencia de una función luminosa $I(x,y,\lambda,t)$ procedente de un foco emisor sobre una escena (FIG 1.3). Todo el conjunto constitutivo de la misma absorberá determinadas radiaciones y reflejará otras de manera que podemos pensar que la imagen incidente a un sistema sensor hipotético, sobre el que en principio no haremos ninguna suposición previa, es el resultado de una acción representable en términos de reflectancia, esto es, podemos suponer que:

$$f_i(x, y, \lambda, t) = I(x, y, \lambda, t) R(x, y, \lambda, t) \quad (1.2)$$

$$0 < I(x, y, \lambda, t) < \infty$$

La función $R(x, y, \lambda, t)$ caracterizará al grupo de objetos a los cuales llega la radiación, que si normalizamos poseerá valores comprendidos entre 0 y 1. Un cuerpo negro absorbería toda la radiación y podrá ser caracterizado por:

$$R(x, y) = 0 \quad \forall \lambda, t > 0$$

De la misma forma el blanco absoluto reflejaría todo lo que le llega y la función reflectancia tomaría el valor unidad, de manera que siempre:

$$0 < R(x, y, \lambda, t) < 1$$

La función $f(x, y, \lambda, t)$ creada constituye la imagen en su aspecto más general, en cada punto de la misma existe una radiación con un espectro de energía determinado cuya composición es variable a lo largo del tiempo. Esta función nos permite generar un espacio de entradas, que llamaremos $X_{\alpha\beta\lambda\tau}$, a nuestro elemento sensor, y la respuesta más general del sistema caracterizado por su espacio de salidas Y_{xyt} será:

$$Y_{xyt} = F(X_{\alpha\beta\lambda\tau}) \quad (1.3)$$

Donde F representa la acción ejercida por el sistema sensor sobre el conjunto de la radiación incidente y dependerá, como es lógico de la estructura global del mismo.

Para describir mejor el espacio de salidas podemos desarrollar (1.3) en serie de Taylor como en [88],[72], teniendo en cuenta la respuesta espontánea $F_{xyt}(0)$ que se produce en el sistema en ausencia de estímulo incidente:

$$\begin{aligned}
 Y_{xyt} = & F_{xyt}(0) + \sum_{\alpha\beta\lambda\tau} W_{xyt\alpha\beta\lambda\tau} X_{\alpha\beta\lambda\tau} + \\
 & + \sum_{\alpha\beta\lambda\tau} \sum_{\alpha\beta\lambda\tau} W_{xyt;\alpha\beta\lambda\tau;\alpha\beta\lambda\tau} X_{\alpha\beta\lambda\tau} X_{\alpha\beta\lambda\tau} + \\
 & + \dots
 \end{aligned}
 \tag{1.4}$$

Donde:

$$W_{xyt} = \frac{\partial F_{xyt}}{\partial X_{\alpha\beta\lambda\tau}} \Big|_{X_{\alpha\beta\lambda\tau}=0} ; \dots$$

Los distintos sumandos globales de la ecuación anterior representan la interacción espacio temporal espectral llevada a cabo por el sistema. Prescindiendo de la evolución temporal pueden observarse en la figura 1.4. De manera generalizada es posible extender al continuo la expresión (1.4) y realizar después

algunas simplificaciones para su adaptación a sistemas conocidos:

$$\begin{aligned}
 Y(x,y,t) = & F(x,y,t) + \int_{-\infty}^t \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} \int_R W(x,y,t;\alpha,\beta,\lambda,\tau) X(\alpha,\beta,\lambda,\tau) \\
 & d\alpha d\beta d\lambda d\tau + \int_{-\infty}^t \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} \int_R \int_{-\infty}^{\lambda_1} \int_{-\infty}^{\lambda_n} W(x,y,t;\alpha,\beta,\lambda,\tau; \alpha',\beta',\lambda',\tau') \\
 & X(\alpha,\beta,\lambda,\tau) X(\alpha',\beta',\lambda',\tau') d\alpha' d\beta' d\lambda' d\tau' + \dots \\
 & + \dots\dots\dots
 \end{aligned}$$

(1.5)

Siendo R el campo receptivo del sistema sensor donde supondremos que $f(x,y,\lambda,t)$ se encuentra definida para todos sus puntos, λ_1, λ_n los límites de percepción espectral del sistema. Para sistemas continuos e invariantes en el tiempo el espacio de salidas definido por (1.5) queda reducido a la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 Y(x,y,t) = & F(x,y,t) + \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} W(x,y;\alpha,\beta,\lambda) X(\alpha,\beta,\lambda,t) d\alpha \\
 & d\beta d\lambda d + \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} W(x,y;\alpha,\beta,\lambda; \alpha',\beta',\lambda') \cdot \\
 & X(\alpha,\beta,\lambda,t) X(\alpha',\beta',\lambda',t) d\alpha' d\beta' d\lambda' + \dots
 \end{aligned}$$

(1.6)

Para analizar el efecto de λ , en la respuesta

del sistema vamos a considerar que este es estacionario e independiente del tiempo, esto es, trataremos imágenes estacionarias, donde supondremos que, debido al grado de integración del elemento sensor, las fluctuaciones en la radiación incidente pueden considerarse despreciables frente al orden de magnitud de los tiempos (macrotiempos) del sistema. Bajo estas consideraciones podemos escribir (1.6) como:

$$\begin{aligned}
 Y(x,y) = & F(x,y) + \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} \int \int W(x,y;\alpha,\beta,\lambda) X(\alpha,\beta,\lambda) d\alpha d\beta d\lambda + \\
 & + \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} \int \int \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} \int \int W(x,y;\alpha,\beta,\lambda;\alpha,\beta,\lambda) X(\alpha,\beta,\lambda) d\alpha d\beta d\lambda \\
 & d\alpha d\beta d\lambda + \dots
 \end{aligned}$$

(1.7)

Vamos por el momento a ceñirnos a sistemas lineales en espacio y λ , para ellos la ecuación (1.7) se simplifica a:

$$Y(x,y) = F(x,y) + \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} \int \int W(x,y;\alpha,\beta,\lambda) X(\alpha,\beta,\lambda) d\alpha d\beta d\lambda$$

(1.8)

Suponiendo m canales independientes, a cada canal corresponderá una ecuación del tipo (1.8), es decir:

$$Y_K(x,y) = F(x,y) + \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} \int_R W_K(x,y;\alpha,\beta,\lambda) X(\alpha,\beta,\lambda) d\alpha d\beta d\lambda$$

$$K=1,2,\dots,m \quad (1.9)$$

Si realizamos la suposición de considerar que los núcleos $W_K(x,y;\alpha,\beta,\lambda)$ son expresables en la forma:

$$W_K(x,y;\alpha,\beta,\lambda) = W_{SK}(x,y;\alpha,\beta) W_{CK}(\lambda)$$

$$(1.10)$$

Siendo $W_{CK}(\lambda)$ la sensibilidad parcial del sistema a la radiación, y consideramos sólo una pequeña zona al-rededor de un punto x_0, y_0 de R , de manera que:

$$W_{SK}(x,y;\alpha,\beta) = \delta(x-x_0) \delta(y-y_0)$$

$$(1.11)$$

Es posible definir un color cualquiera en este punto por el conjunto de m coordenadas $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$. Si prescindimos de la respuesta espontánea, cada una de estas coordenadas esta determinada por la expresión:

$$Y_K(x_0, y_0) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} W_{CK}(\lambda) X(x_0, y_0) d\lambda$$

$$K=1,2,\dots,m \quad (1.12)$$

En el caso del sistema visual humano la expresión (1.10) no se satisface realmente, pues existe una

serie de fenómenos a nivel retinal [25],[34], que parecen indicar que existe un alto grado de interacción espacio-cromática que están siendo profusamente estudiados [36].

Con las simplificaciones introducidas vemos que es posible caracterizar cromáticamente una imagen en términos Y_k . Se le hace corresponder a cada color presente en un punto cualquiera de la imagen otro de un espacio m -dimensional definido por sus coordenadas extraíbles desde (1.12), permitiendo así describir una imagen desde un punto de vista cromático de una forma directamente relacionada con su espacio de entradas.

A partir de estas coordenadas, Y_k , podemos definir una serie de conceptos asociados con sensaciones de percepción que llevan implícitos ciertos parámetros psíquicos. Así por ejemplo la sensación de grado de pureza de un color (s) ligada al subespectro de energía de la radiación puntual incidente [15], esto es, al grado de difuminación del color respecto al blanco, lo que denominamos saturación, puede definirse para un color c dado como la distancia, dentro de este espacio, a un blanco equienérgico con él. Es decir:

$$s^2 = \sum_{k=1}^n (Y_k^W - Y_k)^2 \quad (1.13)$$

Donde los Y_k son las coordenadas de este blanco e Y_k las del color genérico en cuestión. Para encontrar un punto en este espacio para este blanco, prescindamos de factores espaciales, entonces cada coordenada Y_k sólo será función de la radiación incidente. Empleando terminología discreta:

$$Y_k = \sum_{j=1}^n W_{ckj} X_j \quad (1.14)$$

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

Siendo los W_{kj} factores de peso y los X_j valores de las amplitudes directamente extraíbles del espectro de energía de la radiación incidente (FIG 1.5), obtenidas de un análisis armónico previo, donde parece ser que la fase no es relevante, al igual que ocurre con el sonido.

Para el blanco equienergético correspondiente se cumplirá:

$$Y_k^W = \sum_{j=1}^n W_{ckj} X_j \quad (1.15)$$

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

Es decir Y_k son las coordenadas del blanco que posee una densidad espectral de energía de amplitud constante, K , para cualquier longitud de onda comprendida entre λ_1 y λ_n , límites de percepción del sistema. Para cuantificar su valor utilizaremos la densidad espectral de energía del color c , que en

forma discreta pueda expresarse como:

$$E = \sum_{j=1}^n X_j \quad (1.16)$$

Para el blanco equienergético con él, la expresión correspondiente es:

$$E_W = \sum_{j=1}^n K = nK \quad (1.17)$$

Luego de (1.16) y (1.17)

$$K = \sum_{j=1}^n X_j / n \quad (1.18)$$

la ecuación (1.13) para la saturación se expresa, con las anteriores consideraciones, como:

$$s^2 = \sum_{k=1}^m \left(\sum_{j=1}^n W_{ckj} X_j - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n W_{ckj} \sum_{i=1}^n X_i \right)^2$$

$$s^2 = \sum_{i=1}^n s_k^2$$

(1.19)

Cada sumando s_k puede modificarse de la forma siguiente:

$$s_k = \sum_{j=1}^n W_{ckj} X_j - \sum_{i=1}^n W_{cki} \sum_{j=1}^n X_j$$

$$s_k = \sum_{j=1}^n \left(W_{ckj} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_{cki} \right) X_j$$

$$s_k = \sum_{j=1}^n C_{kj} X_j \quad (1.20)$$

Donde

$$C_{kj} = W_{ckj} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n W_{cki} \quad (1.21)$$

Y entonces:

$$s^2 = \sum_{k=1}^m \left(\sum_{j=1}^n C_{kj} X_j \right)^2$$

$$s^2 = \sum_{k=1}^m \left(\sum_{j=1}^n C_{kj} X_j - \sum_{i=1}^n C_{ki} X_i \right)$$

De donde:

$$s^2 = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \left(\sum_{k=1}^m C_{kj} C_{ki} \right) X_j X_i \quad (1.22)$$

Generalizando al continuo resulta:

$$s^2 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} W_{\text{sat}}(\lambda, \lambda') X(\lambda) X(\lambda') d\lambda d\lambda' \quad (1.23)$$

Donde:

$$W_{\text{sat}}(\lambda, \lambda') = \sum_{k=1}^m C_k(\lambda) C_k(\lambda') \quad (1.24)$$

Cada $C_k(\lambda)$ está definido como:

$$C_k(\lambda) = W_{ck}(\lambda) - \frac{1}{(\lambda_1 - \lambda_n)} \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} W_{ck}(\lambda') d\lambda' \quad (1.25)$$

Observamos que la expresión (1.23) reviste un carácter no lineal y permite asignar a cada color una propiedad del mismo relacionada con el espacio de entradas particularizado para un punto en cuestión.

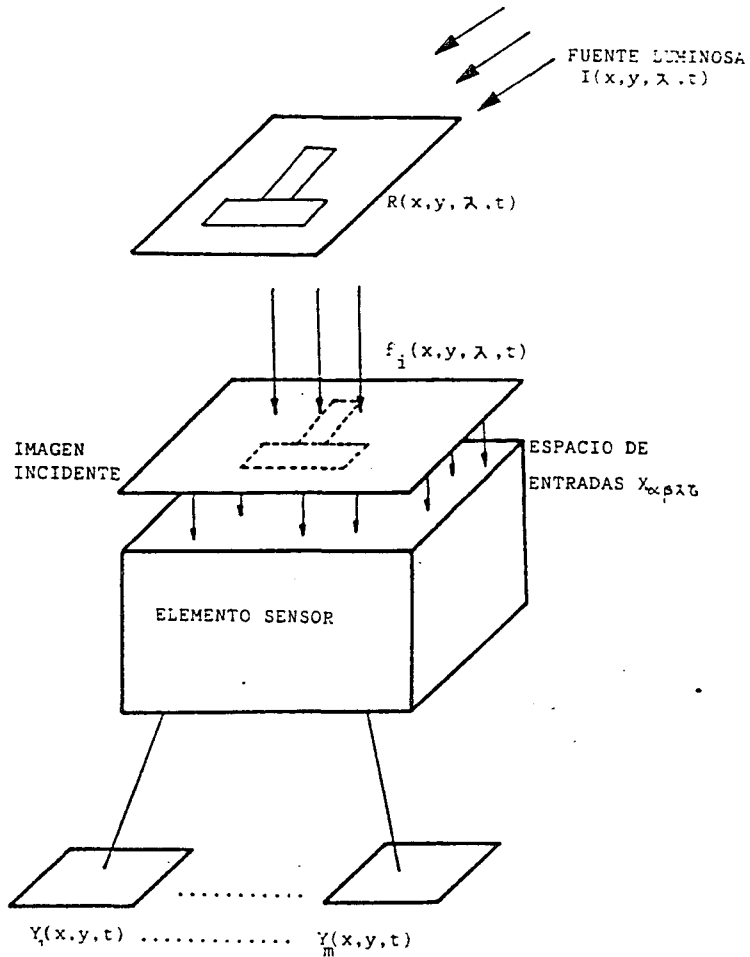


FIG 1.3 Generación de la imagen Incidente y coordenadas cromáticas

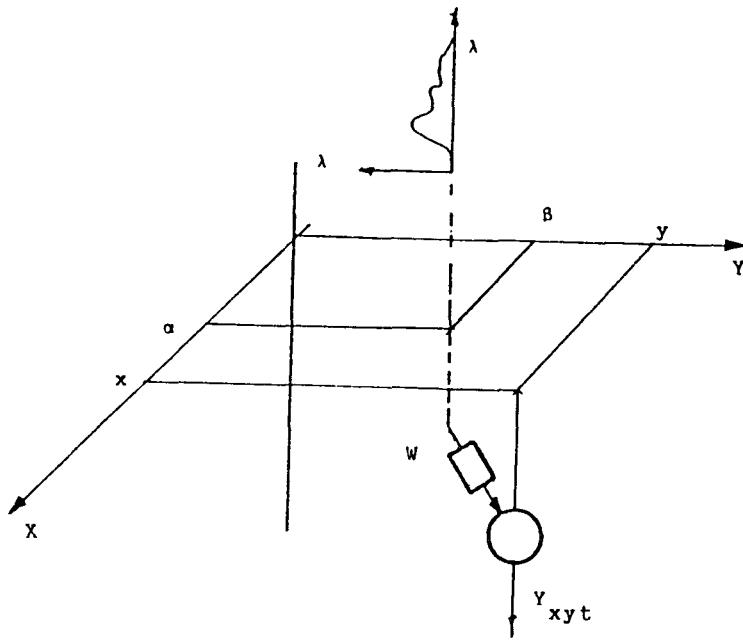


FIG I.4 Estructura espacio-cromática

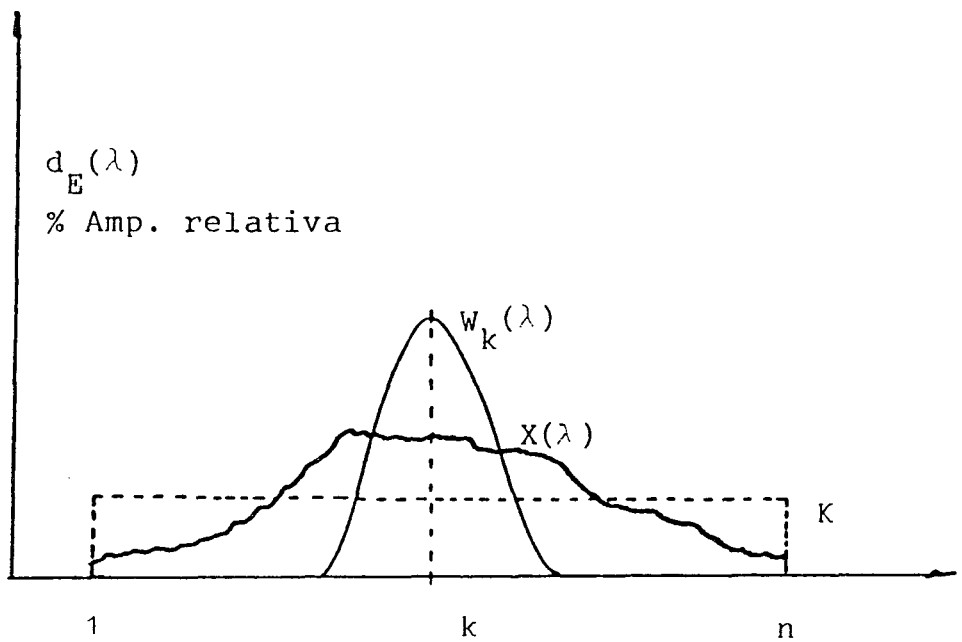


FIG I.5 Distribución espectral de $X(\lambda)$ y su Blanco equienergético.

La sensación de "claridad" o "brillo" de una imagen está íntimamente ligado a la potencia luminosa que emerge de la superficie emisora [] y puede ser evaluada a partir de:

$$\sigma = \sum_{k=1}^m \alpha_k Y_k \quad (1.26)$$

Donde los α_k son factores de peso con las unidades correspondientes. Por similitud con los términos utilizados en la tecnología de la televisión nos dirigiremos en ocasiones a σ como la luminancia de la imagen. Si prescindimos de factores espaciales podemos expresarla por:

$$\sigma = \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} W_{\sigma}(\lambda) X(x_0, y_0, \lambda) d\lambda \quad (1.27)$$

Siendo:

$$W_{\sigma}(\lambda) = \sum_{k=1}^n \alpha_k W_{ck}(\lambda) \quad (1.28)$$

Que evidencia un carácter marcadamente lineal, lo que no ocurría con la expresión (1.23) que sintetiza la saturación.

Este espacio de color (m-dimensional) se produce como consecuencia de la reducción de la dimensión del correspondiente espacio n-dimensional de entradas. En consecuencia, se plantea el sistema de ecuaciones discreto:

$$Y_k = \sum_{j=1}^n W_{ckj} X_j \quad (1.29)$$

k=1,2,...,m
m << n

Y entonces la respuesta ante una entrada determinada, caracterizada por $X_j, j=1, \dots, n$, puede obtenerse como el resultado de una combinación aditiva o subtractiva de un conjunto de L entradas, debido al grado de indeterminación del sistema anterior. Si este conjunto es representable por X_{jl} con $j=1, \dots, n, l=1, \dots, L$ resultará que la expresión:

$$Y_k = \sum_{j=1}^n W_{ckj} X_j = \sum_{j=1}^n W_{ckj} \left(\sum_{l=1}^L \beta_{lj} X_{jl} \right) \quad (1.30)$$

k=1,2,...,m ; m << n

Admite todo un rango de posibilidades para distintos valores de β_{lj} y X_{jl} . Ello prueba el efecto visual conocido de la percepción, en el sistema visual, de un color como la combinación de un cierto número finito de radiaciones. Por ello ciertas sensaciones como la de "tinte", o "tono" de color, que permiten discriminar éste, deben definirse en base a

sus coordenadas (Y_k) , y no referirlas al espacio de entrada, aunque como es razonable unos deriven de otros. Para proporcionar una expresión del tinte fijemos un color de referencia C_r cuyas coordenadas en este espacio sean Y_k^r , con respecto a este color de referencia puede evaluarse el tinte como :

$$t = \arcsin \left| \frac{(\bar{Y}^{Cr} - \bar{Y}^W) \cdot (\bar{Y} - \bar{Y}^W)}{[\bar{Y}^{Cr} - \bar{Y}^W] [\bar{Y} - \bar{Y}^W]} \right| \quad (1.31)$$

Siendo Y_k^W las coordenadas del blanco equienergético con el color dado e Y_k las del color genérico en cuestión.

En este espacio m-dimensional podemos cuantificar la sensación de tono de color empleando otro tipo de métricas no euclideas que conduzcan a expresiones menos artificiosas. Algunos autores (Massoff et al. [11],[62],[63]) han intentado expresar la interrelación que existe en el ser humano entre la zona de percepción (Zona de Helmholtz) caracterizada por sus respuestas ante el conjunto de la radiación incidente y la zona sensorial (Zona de Hering), generando el espacio de sensaciones a partir de un cierto tipo de características cromáticas procedentes

de la Zona de Percepción. Sin embargo pensamos que el problema de las sensaciones de color se encuentra muy próximo al de reconocimiento de formas en un nivel muy primario, de manera que en base a unos descriptores de la radiación incidente muy simples, como pudieran ser las coordenadas Y_k ya mencionadas, que involucren a todo un conjunto de operaciones integrales, permitan diferenciar y discernir entre dos formas cromáticas en base a criterios de clasificación que encajan dentro del ámbito más general del problema del reconocimiento de formas, cuestión que analizaremos en próximos apartados.

I.3 TEORIA CLASICA Y SISTEMAS DE REFERENCIA

=====

Las conclusiones anteriormente citadas pueden ser fundamentadas no en base a valores Y_k intrínsecos al propio sistema, sino a valores externos al mismo, realizándose las adecuadas transformaciones. Considerese para ello a las variables representativas del espacio de entradas $X(\alpha, \beta, \lambda)$ factorizables en parte espacial y radiante de la forma:

$$X(\alpha, \beta, \lambda) = X_S(\alpha, \beta) X_r(\lambda) \quad (1.32)$$

Donde $X_r(\lambda)$ denota la distribución espectral de energía incidente expresable, con ciertas restricciones, referida a H colores primarios base, de manera que:

$$X_r(\lambda) \text{ "es equivalente a" } \sum_{h=1}^H X_h C_h(\lambda) \text{ (a efect.percep.)} \quad (1.33)$$

$C_h(\lambda)$ es la densidad espectral de energía del color C y X_h es el factor de peso del mismo para componer $X_h(\lambda)$. En colorimetría clásica, según los axiomas de Grassman [18], un color puede obtenerse por mezcla de no más de tres colores primarios. Luego

haciendo $H=3$ y entendiendo (1.33) en el sentido de la producción de idénticos efectos perceptivos podemos escribir

$$X(\alpha, \beta, \lambda) = X_S(\alpha, \beta) \sum_{h=1}^3 X_h C_h(\lambda) \quad (1.34)$$

Es decir primero y segundo miembros de la igualdad (1.34) generan el mismo efecto sensorial creandose clases de equivalencia en el espacio físico de entradas, referidas a la similitud de las sensaciones producidas. Las leyes clásicas de la adición de colores entran perfectamente dentro de este concepto .

Usualmente las mezclas de colores suelen expresarse en términos de triestímulos Z_h , los cuales se definen al normalizar los X_h tomando un blanco de referencia, esto es:

$$Z_h = \frac{X_h}{W_h} \quad (1.35)$$

Donde W_h representa el factor de peso del color h respecto al blanco W de referencia.

Si por analogía con las leyes de Grassman hacemos $m=3$, podemos plantear el siguiente sistema de ecuaciones que relaciona los parámetros Z_h de un color

C determinado con los Y_k correspondientes.

$$Y_k(x,y) = \sum_{h=1}^3 X_h \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} R^{\lambda} X_S(\alpha, \beta) W_S(x,y; \alpha, \beta) .$$

$$C_h(\lambda) W_{ck}(\lambda) d\lambda d\alpha d\beta$$

(1.36)

k=1,2,3

Si prescindimos de factores espaciales, y si sólo empleamos términos colorimétricos, nos queda:

$$Y_k = \sum_{h=1}^3 Z_h W_h \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} C_h(\lambda) W_{ck}(\lambda) d\lambda$$

k=1,2,3

(1.37)

Si hacemos:

$$a_{ij} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} C_j(\lambda) W_{ci}(\lambda) d\lambda$$

i=1,2,3

j=1,2,3

(1.38)

El conjunto anterior de 3 ecuaciones es expresable en forma matricial

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} W_1 & 0 & 0 \\ 0 & W_2 & 0 \\ 0 & 0 & W_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \end{pmatrix} \quad (1.39)$$

O abreviadamente

$$\bar{Y} = [A][W] \bar{Z}$$

Es decir existe una relación entre los valores computados por el sistema Y_k y los valores triestímulos de las señales de entrada al mismo. Estos pueden formar un espacio de color, representando Z_1 , Z_2 , Z_3 , las coordenadas de un color C determinado. Una representación alternativa de este espacio consiste en obtener los valores normalizados ψ , de la forma:

$$\psi_w = \frac{\psi_w}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \quad w=1,2,3 \quad (1.40)$$

Y como $\psi_3 = 1 - \psi_1 - \psi_2$, se podrá representar un color por sus coordenadas ψ_1 , ψ_2 , que dan la información relativa cromática. Para cuantificar la cantidad absoluta de luz de cada color se emplea la luminancia del mismo. Según las leyes de Grassman la luminancia de un color obtenido por mezcla de sus tres primarios es igual a la suma de las luminancias de éstos:

$$\sigma = \sum_{h=1}^3 Z_h \sigma_h \quad (1.41)$$

Donde σ es la luminancia o luminosidad y σ_h

la de los tres primarios computables a partir de:

$$\sigma_h = \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} W_h C_h(\lambda) E(\lambda) d\lambda \quad (1.42)$$

Expresión en la que $E(\lambda)$ representa la eficiencia luminosa relativa. La luminancia total es entonces expresable por:

$$\sigma = \sum_{h=1}^3 Z_h W_h \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} C_h(\lambda) E(\lambda) d\lambda \quad (1.43)$$

Son posibles otras muchas representaciones alternativas a esta serie de coordenadas Z_1, Z_2, Z_3 , o ψ_1, ψ_2, σ . La Comisión Internationale de L'Eclairage (C.I.E.) ha propuesto un sistema de referencia con los tres primarios monocromáticos siguientes:

$$Z_1 = R \quad ; \quad \lambda_R = 700 \text{ nm.}$$

$$Z_2 = G \quad ; \quad \lambda_B = 546 \text{ nm.}$$

$$Z_3 = B \quad ; \quad \lambda_C = 435.8 \text{ nm.}$$

Este sistema de primarios está definido por curvas de los colores espectrales (FIG I.7). En la fig. I.8 puede verse el diagrama de cromaticidad

correspondiente usando coordenadas normalizadas r , g , b , con:

$$r + b + g = 1 \quad (1.44)$$

Elegidas de forma que el blanco W tomado como patrón (Iluminante E) ocupe el punto de coordenadas $r = 0.333$, $g = 0.333$. Sin embargo, puede observarse que este sistema de coordenadas obliga a tener algunos colores componentes negativas. Por ello, la C.I.E. desarrolló un sistema de primarios XYZ, que se corresponden con los colores definidos por los puntos XYZ de la figura I.7, que tienen como coordenadas (r, g) las siguientes:

$$X \text{-----} \rightarrow (1.275, -0.278)$$

$$Y \text{-----} \rightarrow (-1.739, 2.767)$$

$$Z \text{-----} \rightarrow (-0.743, 0.141)$$

Con este cambio de referencias la C.I.E. elaboró el diagrama de cromaticidad que se representa en la figura I.8, utilizado bastante usualmente para todo tipo de cálculos colorimétricos.

Una propiedad deseable para un sistema de

coordenadas cromático es que un cambio dado en la
 cromaticidad del mismo sea percibido como un
 desplazamiento de color para un observador standard.
 Resultados experimentales confirman que el observador
 humano es muy sensible a desplazamientos en el azul,
 en menor medida a los producidos por el rojo y menos
 en el verde. El C.I.E. en 1.960 adoptó un sistema de
 coordenadas con escala uniforme de cromaticidad
 (U.C.S.), en el cual cambios en las coordenadas
 cromáticas reproducen cambios cuantificables en
 saturación o tinte. La transformación que relaciona el
 sistema de primarios XYZ anterior y éste último viene
 dada por:

$$U = \frac{4X}{-2X + 12Y + 3}$$

$$V = \frac{6Y}{-2X + 12Y + 3}$$

(1,45)

Se han empleado otros sistemas por diversos
 motivos, sobre todo por sus posibilidades de
 adaptación al medio televisivo. Sin ánimo de
 exhaustividad expondremos algunos de ellos pudiendose
 encontrar una explicación más detallada en [43] y
 [85].

Sistema Y-I-Q

Es el resultado de una transformación lineal sobre el sistema RGB que ha sido desarrollado por la industria de la televisión en color para minimizar el ancho de banda de la señal de TV manteniendo una fidelidad cromática subjetiva. Y representa la intensidad luminosa por compatibilidad con los receptores de B/N, mientras I (aproximadamente naranja) se transmite en fase y Q (aproximadamente Magenta) en cuadratura, ortogonal al naranja. Las ecuaciones que definen esta transformación son:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

$$I = 0.596R - 0.274G - 0.322B$$

$$Q = 0.211R - 0.523G + 0.312B$$

(1.46)

Este sistema surgió de los estudios realizados en 1.953 por la National Televisión System Committee (N.T.S.C.) sobre la agudeza visual a las variaciones de longitud de onda con una gran muestra de personas. Se vino a confirmar que se pueden distinguir diferencias de color de fino detalle en la zona

geométrica de colores que va en el diagrama polar B-Y vs. R-Y del naranja al cian, mientras que tales detalles en la zona del magenta verde no se perciben claramente. Sobre esta base se decidió tomar I,Q como ejes de modulación en cuadratura desfasados 33 grados respecto a los ejes B-Y,R-Y, con ello el ancho de banda requerido para la transmisión de la señal R-Y se limita a 1.5 Mhz., mientras que el requerido para la señal B-Y queda limitado a 0.5 Mhz., en ambos casos con el empleo de sendos filtros pasa-bajo.

Sistema L-a-b

Fue introducido para proporcionar una medida precisa al empleo de valores triestímulos. Las coordenadas definitorias del sistema son el resultado de una transformación no-lineal de los valores triestímulos:

$$\begin{aligned}
 L &= 25 (100Y/Y_0)^{1/3} - 16 \\
 a &= 500 ((X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}) \\
 b &= 500 ((Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3})
 \end{aligned}$$

(1.47)

Siendo X_0, Y_0, Z_0 los valores triestímulos

correspondientes al blanco de referencia.

Sistema $U^* - V^* - W^*$

Surgió como consecuencia de la necesidad de que desplazamientos unitarios en la luminancia y crominancia sean unitariamente percibidos. Las ecuaciones que definen al mismo son:

$$U^* = W^* (U - U_0)$$

$$V^* = W^* (V - V_0)$$

$$W^* = 25 (100Y)^{1/3} - 17$$

(1.48)

Donde U_0, V_0 son las coordenadas del iluminante de referencia e Y representa la luminancia.

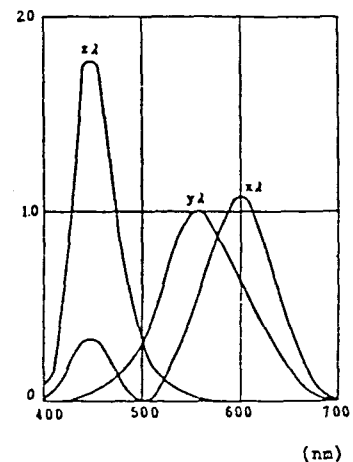
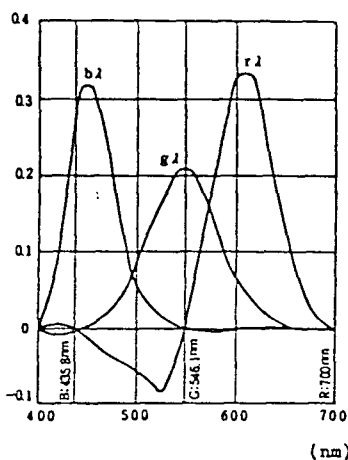


FIG. 1.6 Curva de valores triestímulo.

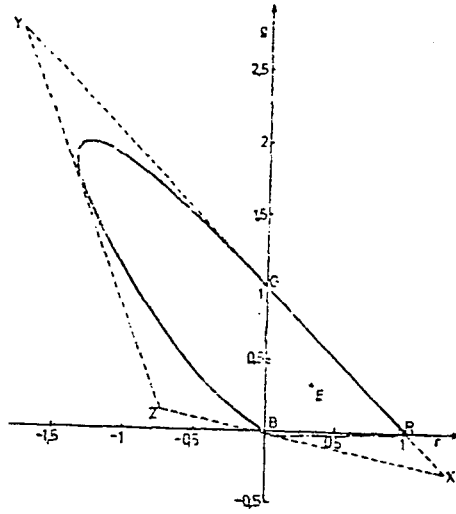


FIG. I.7. Diagrama de cromaticidad según (1.44)

Coordenadas de los primarios de la TVC (C.C.I.F.)

R:	$x = 0,64$	$y = 0,33$
G:	$x = 0,29$	$y = 0,60$
B:	$x = 0,15$	$y = 0,06$

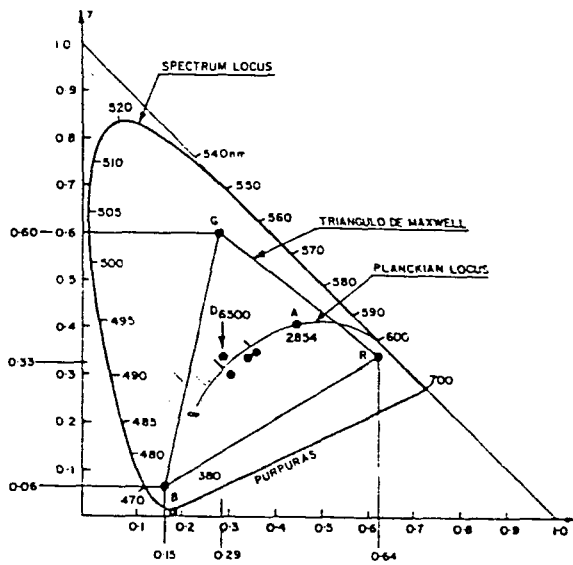


FIG. I.8. Diagrama de Coordenadas Tricromáticas Internacionales.

1.4 BASES TEORICAS DE LA CLASIFICACION CROMATICA

=====

El reconocimiento de formas es una componente fundamental del conocimiento. En general puede ser considerado como la clasificación de formas u objetos basada en determinadas características de los mismos. Un clasificador de formas esta intrínsecamente ligado a los elementos sensores que le proporcionan la información externa. De ellos extrae un conjunto de números asociados a cada forma, que se denominan usualmente medidas. Estas medidas a su vez se combinan entre ellas, eliminandose aquella información irrelevante, generandose otro conjunto de números muy estrechamente relacionado con la forma, llamados según las terminologías propiedades, características o descriptores.

Cada objeto o forma se representa por este conjunto de números que dan lugar al denominado espacio de propiedades. La solución al problema del reconocimiento de formas es determinar una regla de decisión para clasificar correctamente la forma en cuestión, creandose así el espacio de clasificación, que no es mas que un conjunto discreto de puntos que se corresponden con un conjunto de posibles decisiones (FIG. 1.9)

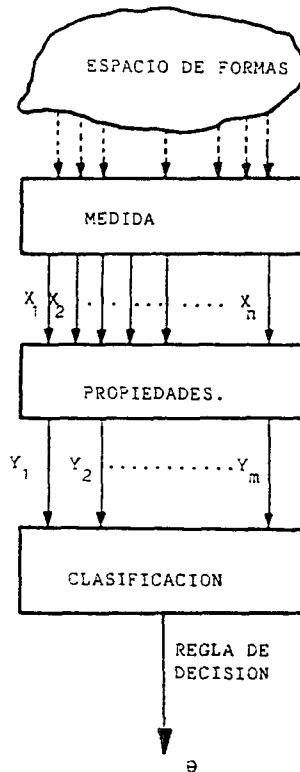


FIG. 1.9. Estructura de un sistema de reconocimiento .

En nuestro caso generamos a partir de las medidas extraídas del conjunto de la radiación incidente un espacio cromático m -dimensional. Dentro de este espacio se establecen determinadas zonas que van a caracterizar un color determinado, esto es, se genera un conjunto $C = \langle C_1, C_2, \dots, C_N \rangle$ de N colores definidos a partir de sus m coordenadas cromáticas y establecidos de forma universal.

La clasificación de las diferencias entre colores en términos de tonalidad, luminosidad y saturación esta resuelta en términos matemáticos objetivos. Sin

embargo, las diferencias psicológicas y del mecanismo visual hacen más difícil la percepción subjetiva del color. En este sentido Shepard [96],[97] con la introducción del análisis de proximidades ha proporcionado un método de gran generalidad, que permite representar datos en el caso de que las distancias entre objetos se definan de forma imprecisa, dudosa o claramente no métrica.

Para este conjunto de N colores definimos otro conjunto de funciones discriminantes $g_i(\bar{\theta})$, $i=1,\dots,N$, de manera que un nuevo color θ especificado por sus coordenadas, pertenecerá a la clase C_i , definida a priori, si se cumple (FIG 1.10):

$$g_i(\bar{\theta}) > g_j(\bar{\theta}) \quad \forall i \neq j$$

El problema reside fundamentalmente en encontrar el conjunto de funciones discriminantes adecuado. Una función de este tipo puede suponerse lineal. En este caso:

$$g_i(\bar{\theta}) = K_{i0} + \sum_{l=1}^m K_{il} \theta_l \quad (1.49)$$

Siendo K_{il} factores de peso y K_{i0} un cierto umbral. Estas funciones producen una división del espacio de color en N regiones de decisión, R_j , de

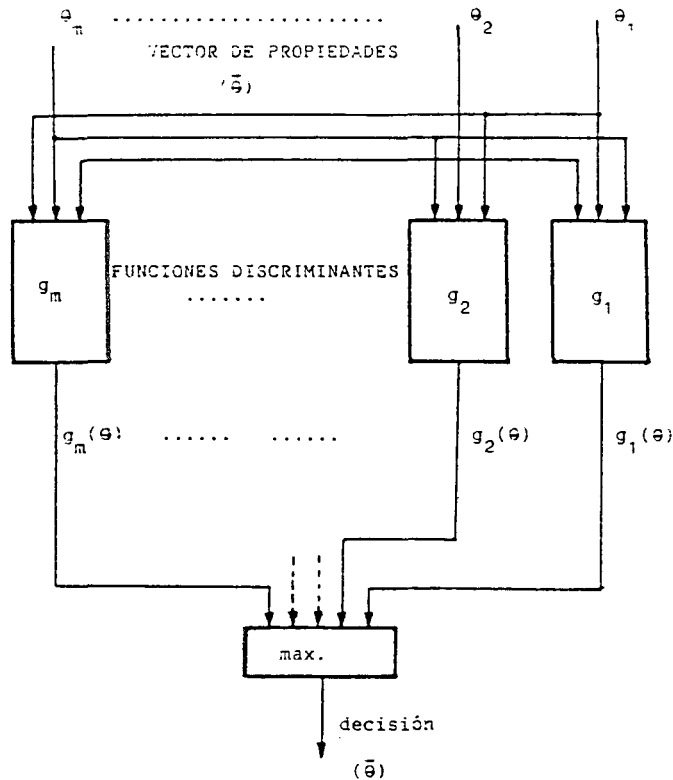


FIG. I.10. Diagrama de decisión.

manera que en las mismas es máxima la correspondiente función discriminante g_j . Si dos regiones R_i, R_j son contiguas, la zona de separación entre ellas vendrá definida por:

$$g_i(\bar{\theta}) = g_j(\bar{\theta}) \quad (1.50)$$

En el caso de utilizar funciones discriminantes como las de la expresión (1.49), las regiones de separación resultan ser hiperplanos, de ecuación:

$$\sum_{l=1}^m (K_{il} - K_{jl})\theta_l + (K_{io} - K_{jo}) \quad (1.51)$$

También es posible introducir otros tipos de

funciones discriminantes. Un caso interesante por su semejanza con ciertas métricas conocidas [109], [110] es la que resulta de (1.49) con la adición de nuevos términos de segundo orden:

$$g_i(\bar{\theta}) = K_{i0} + \sum_{j=1}^m K_{ij} \theta_j + \sum_{l=1}^m \sum_{h=1}^m K_{ilh} \theta_l \theta_h \quad (1.52)$$

Como $\theta_l \theta_h = \theta_h \theta_l$, podemos afirmar, sin pérdida de generalidad, que $K_{ilh} = K_{ihl}$. Las superficies de decisión son entonces hipercuádricas, definidas en el espacio cromático y expresables por:

$$\sum_{l=1}^m \sum_{h=1}^m (K_{ilh} - K_{jlh}) \theta_l \theta_h + \sum_{l=1}^m (K_{il} - K_{jl}) \theta_l + (K_{i0} - K_{j0}) = 0 \quad (1.53)$$

Un clasificador de Bayes también representa los casos anteriores. En efecto, sea C el conjunto descrito que define los N posibles estados y $A = \{A_1, A_2, \dots, A_N\}$, un conjunto de posibles acciones para las que se define $L(A_i/C_j)$ como la pérdida o error producido al tomar la acción A_i cuando se trata del estado C_j . Sea θ el vector color de m componentes, cuyos valores pueden ser aleatorios, y sea $P(\bar{\theta}/C_j)$ la densidad de probabilidad condicionada de θ al estado

C_j . Consideraríamos por último también conocida la probabilidad a priori de cada clase C_j ($P(C_j)$). Entonces, la probabilidad a posteriori $P(C_j/\bar{\theta})$ puede evaluarse a partir de la regla de Bayes como:

$$P(C_j/\bar{\theta}) = \frac{P(\bar{\theta}/C_j) P(C_j)}{\sum_{k=1}^N P(\bar{\theta}/C_k) P(C_k)} \quad (1.54)$$

Si es cierto el estado C_j , el riesgo condicional al tomar una decisión A_i del conjunto A es:

$$R(A_i/\bar{\theta}) = \sum_{k=1}^N L(A_i/C_k) P(C_k/\bar{\theta}) \quad (1.55)$$

Y el problema queda reducido a seleccionar una acción A tal que minimice el riesgo dado por la función anterior. Podemos realizar la equivalencia:

$$g_i(\bar{\theta}) = - R(A_i/\bar{\theta}) \quad (1.56)$$

Es decir, la función discriminante corresponde a aquella que proporciona el mínimo riesgo condicional. También es posible realizar la correspondencia definida por:

$$g_i(\bar{\theta}) = P(C_i/\bar{\theta}) \quad (1.57)$$

De forma que la máxima función discriminante corresponda como parece coherente con la máxima probabilidad a posteriori. Como puede observarse, la elección de la función discriminante no es única. Podemos adoptar un número bastante elevado de combinaciones de ellas. Entre las más usadas y que proporcionan el mínimo error en la clasificación [29] están:

$$g_i(\bar{\theta}) = P(\bar{\theta}/C_i) P(C_i)$$

$$g_i(\bar{\theta}) = \frac{P(\bar{\theta}/C_i) P(C_i)}{\sum_{k=1}^N P(\bar{\theta}/C_k) P(C_k)} \quad (1.58)$$

O cualquier $F(g_i(\bar{\theta}))$, de manera que, F sea monótona creciente, como puede ser la siguiente expresión:

$$g_i(\bar{\theta}) = Lg(P(\bar{\theta}/C_i)) + Lg(C_i) \quad (1.59)$$

Que más tarde utilizaremos. La estructura de un clasificador de este tipo está fundamentada en las densidades de probabilidad condicionadas $P(\bar{\theta}/C_j)$. De las múltiples funciones posibles, la más ampliamente referenciada es la densidad normal multivariante [29], [21], [64]. En ella cada clase C_i viene representada por su vector prototipo μ_i caracterizado por sus

coordenadas, que puede especificarse a priori o ser producto de un análisis estadístico previo como en [31],[96],[97]. La expresión más general es de la forma:

$$P(\bar{\theta}) = \frac{1}{(2\pi)^{m/2} C_{\sigma}^{1/2}} \exp\left(-\frac{1}{2}(\bar{\theta}-\bar{\mu})^t C_{\sigma}^{-1}(\bar{\theta}-\bar{\mu})\right) \quad (1.60)$$

Siendo $\bar{\mu}$ el vector media de dimension m y C_{σ} la matriz de covarianzas de dimensiones $m \times m$, que es siempre simétrica y semidefinida positiva. Esta matriz determina la forma de la región o cluster, mientras el centro del mismo viene definido por el vector media $\bar{\mu}$. Los puntos de densidad constante son hiperelipsoides, para los cuales la forma cuadrática $(\bar{\theta}-\bar{\mu})^t C_{\sigma}^{-1} (\bar{\theta}-\bar{\mu})$ es constante. Los ejes principales de estos hiperelipsoides están dados por los autovalores de C_{σ}^{-1} , que determinan la longitud de los mismos. La distancia:

$$d = \left((\bar{\theta}-\bar{\mu})^t C_{\sigma}^{-1} (\bar{\theta}-\bar{\mu}) \right)^{1/2}$$

Es la conocida distancia de Mahalanobis, de manera que los distintos hiperelipsoides vienen determinados por los contornos definidos por $d=\text{constante}$. Si utilizamos como función discriminante

la descrita en (1.59) nos resultará:

$$g_i(\bar{\theta}) = -\frac{1}{2} (\bar{\theta} - \bar{\mu}_i)^t C_{\sigma i}^{-1} (\bar{\theta} - \bar{\mu}_i) - m/2 \log(2\pi) - \\ -\frac{1}{2} \log(|C_{\sigma i}|) + \log(P(C_i)) \quad (1.62)$$

Si suponemos equiprobables a priori los distintos C_i , y eliminamos términos irrelevantes, la función discriminante se reduce a:

$$g_i(\bar{\theta}) = -\frac{1}{2} (\bar{\theta} - \bar{\mu}_i)^t C_{\sigma i}^{-1} (\bar{\theta} - \bar{\mu}_i) - \frac{1}{2} \log(|C_{\sigma i}|) \quad (1.63)$$

O bien aprovechando las propiedades del producto de matrices traspuestas:

$$g_i(\bar{\theta}) = \bar{\theta}^t S_{i1} \bar{\theta} + S_{i2}^t \bar{\theta} + S_{i3} \quad (1.64)$$

Siendo:

$$S_{i1} = -\frac{1}{2} C_{\sigma i}^{-1} \\ S_{i2} = C_{\sigma i}^{-1} \bar{\mu}_i \\ S_{i3} = -\frac{1}{2} \bar{\mu}_i^t \cdot C_{\sigma i}^{-1} \bar{\mu}_i - \frac{1}{2} \log(|C_{\sigma i}|)$$

Donde se observa que las superficies de decisión entre dos regiones R_i, R_j , definidas por el lugar de los puntos del hiperespacio de dimension m que verifiquen (1.50), serán hipersuperficies, concretamente hipercuádricas, que dependeran de la naturaleza de C_{oi} , que es función del referencial cromático elegido.

II. ADQUISICION Y PRESENTACION DE IMAGENES

=====

EN B/N Y COLOR

=====

2.1 INTRODUCCION

=====

Un paso inicial para todos aquellos procesos de robótica visual es poseer un buen sistema que de forma fiable y rápida, permita adquirir la información necesaria del mundo exterior. La facilidad de tratamiento de actividades que proporciona el feedback visual permite simplificar tareas que desde otras ópticas de procesamiento resultarían de una complejidad excesiva. Entre las ideas que durante largo tiempo han existido se encuentra la de poder crear un sistema inteligente capaz por si mismo de realizar funciones que han sido diseñadas previamente o sean producto del aprendizaje autónomo, generadas como consecuencia de todo un proceso de observación y análisis, en las que el factor debido al elemento visual es vitalmente significativo.

Con el auge de la tecnología de robots la incorporación de sistemas de visión a estos permite su uso en actividades hasta ahora reservadas solo al hombre. Así, en todo una serie de tareas, que por su repetitividad tediosa y molesta, como ocurre con las cadenas de montaje, clasificación de piezas, de correspondencia, ect., o en trabajos en que se manejen materiales tóxicos, corrosivos, o peligrosos, el hombre puede ser sustituido y lo está siendo ya por robots controlados merced a la información que proporcionan los elementos de visión.

Podemos dividir los sistemas de visión para robots en dos grupos. Por un lado los sistemas específicos dirigidos y diseñados de acuerdo con una aplicación concreta para trabajar en un contexto perfectamente delimitado y por otro los sistemas universales que pueden ser aplicables en situaciones y circunstancias diversas.

Una aplicación que ha tenido ya un cierto éxito dentro del primer grupo de sistemas es el empleo de elementos de visión autónomos en la inspección automática de productos [54],[56]. Se han implementado sobre todo dispositivos destinados al control del ensamblaje de circuitos LSI. Una de las pioneras en este campo fue la división de Circuitos

Integrados de HITACHI [63], que desarrolló un sistema basado en el uso de 8 cámaras localizadas en cuatro estaciones remotas de medida y un sistema de reconocimiento controlado por un minicomputador HITAC-1011 de 16 bits y 16 KW. Básica y esquemáticamente el diagrama elemental del sistema y la estructura de la estación pueden verse en la figura II.1-2.

Dentro de este tipo de aplicaciones Baird [6] ha implementado un procesador para la inspección visual de transistores de potencia que forman parte de los sistemas de ignición de todos los automóviles de la GENERAL MOTORS. Para casi todos estos procesos de inspección el esquema básico es el representado en el diagrama de bloques de la figura II.3, y en general consisten en una primera etapa de registro y segmentación, donde las imágenes de los elementos de la cadena productiva son sucesivamente adquiridas y separadas en ellas las componentes individuales significativas de las mismas, seguidas de una segunda donde tiene lugar el proceso de análisis de defectos. Se han aplicado también otros modelos de tratamiento más elaborados en [56] y [22] se analizan otras formas de inspección visual.

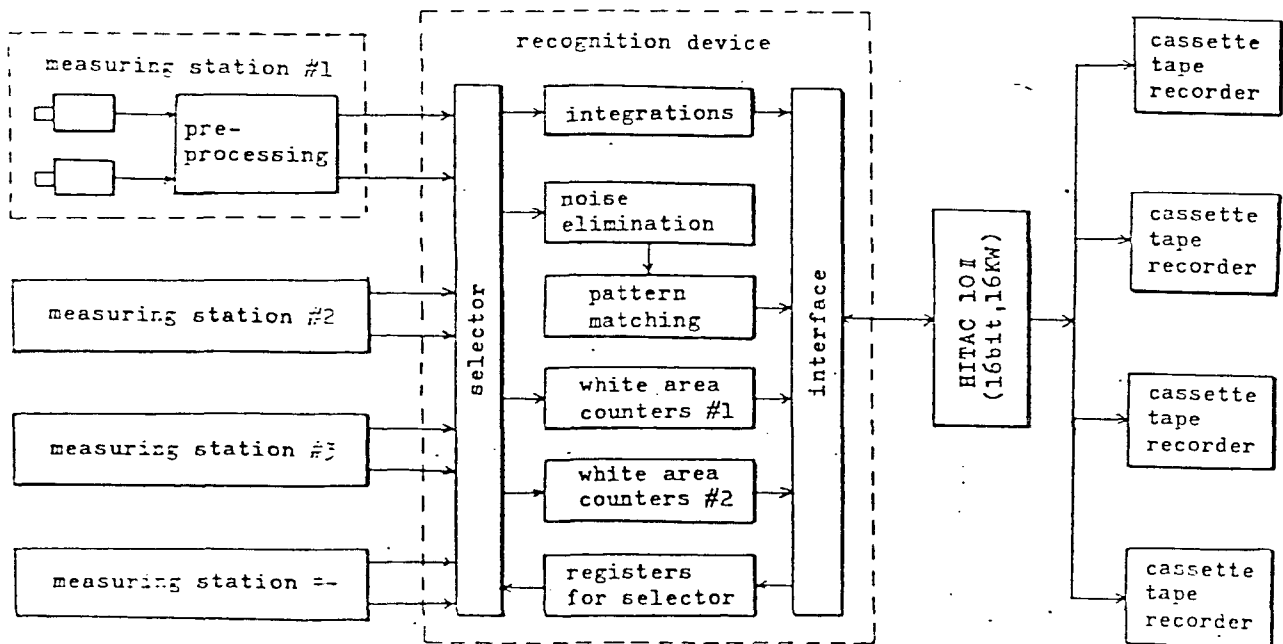
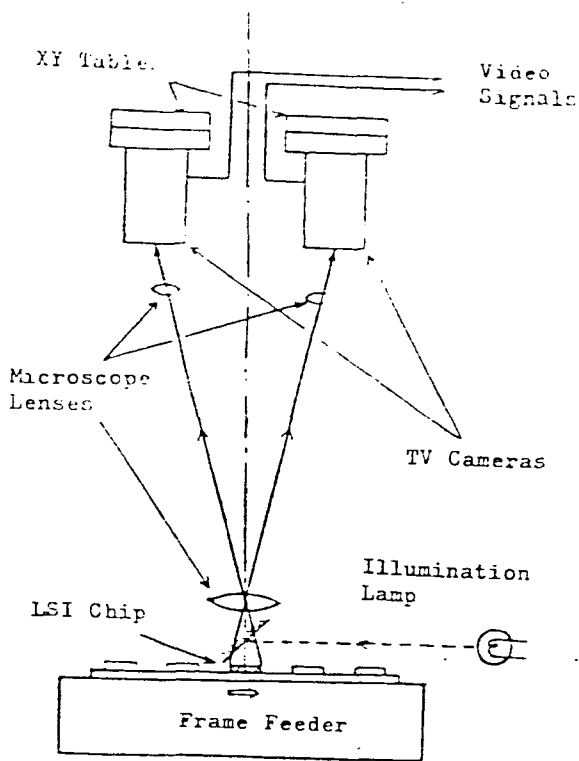


FIG. II.1-2. Sistema primitivo de HITACHI para inspección de circuitos LSI.

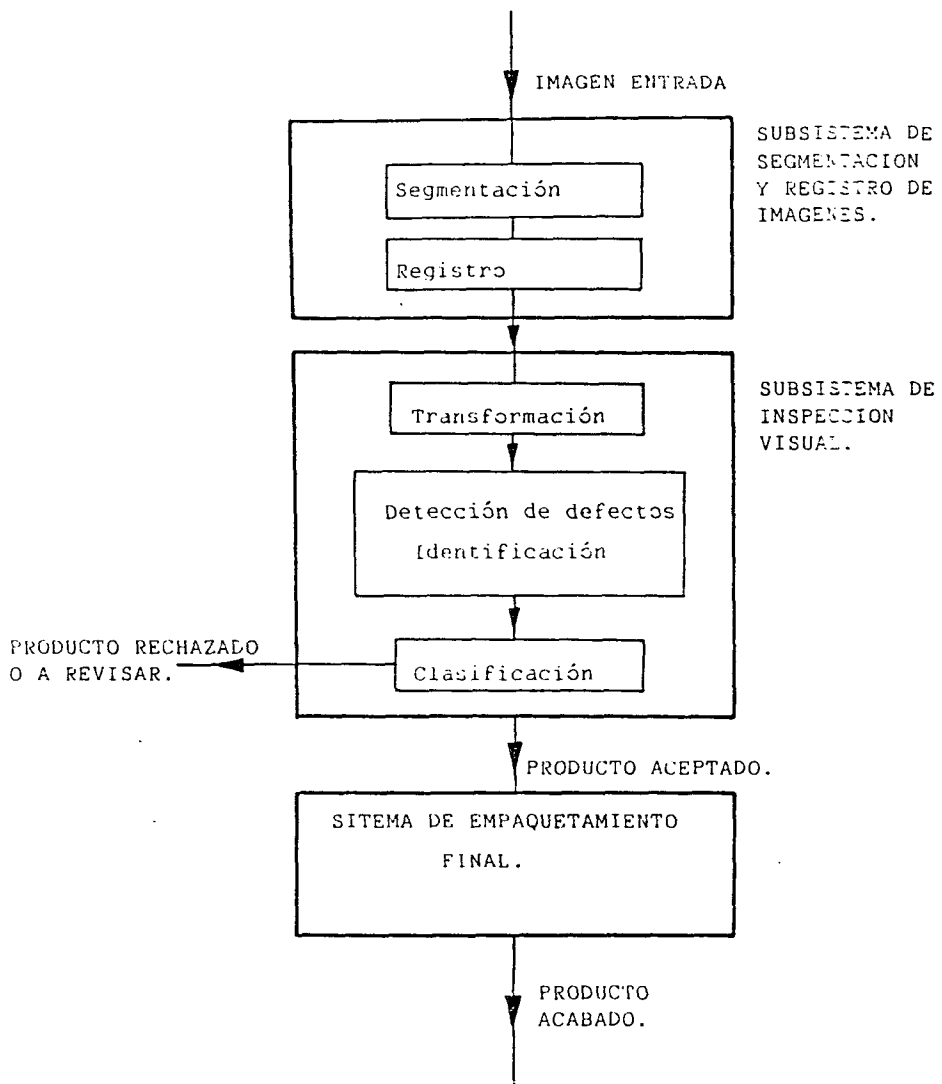


FIG.II.3 Esquema general de Procesos de Inspección.

Otra rama importante del uso de los datos ópticos en actividades industriales es la indentificación, manipulación y ensamblaje de piezas . Yachida et al.[...] han desarrollado en este sentido un flexible programa para el reconocimiento de las partes de un motor de gasolina. Holland [...] ha implementado el que el y sus colaboradores denominan el "Consight" , que es un sistema identificador que

emplea como única forma la iluminación para reducir la imagen a la información relevante de su entorno. Usa fuentes luminosas que le permiten definir más rápidamente el objeto para su posterior localización e identificación. En esta línea Hall et al. [35], han desarrollado, más recientemente, técnicas de medida de curvatura de superficies para la localización por sistemas robóticos, basadas en diferencias de iluminación. El "Consight" es particularmente interesante porque es un claro exponente del uso de la iluminación controlada para eliminar la complejidad asociada con la detección primitiva a bajo nivel. Más adelante volveremos sobre el tema de la iluminación pues constituye un aspecto muy a tener en cuenta a la hora de obtener buenos resultados.

Otras entidades como la Westinghouse e Hitachi están proyectando construir manipuladores programables y universales que usan el feedback a través de elementos de visión para inspeccionar partes defectuosas y realizar un correcto ensamblaje, situados en estaciones distribuidas en la cadena productiva y controlados de forma jerarquizada por un host computer.

Un grupo interesante de aplicaciones las

constituyen los sistemas de visión generales, por cuanto no están diseñados a la medida de un proceso productivo concreto sino que abordan un campo más amplio de aplicación. Un resumen detallado de algunos sistemas con éstas características descritas puede verse en [8]

De este pequeño conjunto de ejemplos podemos deducir la gran capacidad operativa que puede comunicar a un proceso de control el elemento visual. Sin embargo las técnicas y potencialidad del uso del color no se ha introducido y no se han aprovechado la información adicional verdaderamente útil que los factores cromáticos de una escena proporcionan.

Para la construcción de un sistema de adquisición y proceso de imágenes en color se han adoptado diversas filosofías [47] , [48]. Quizás la más standard es la desarrollada por Jarvis [49] basada en la interconexión de dos minicomputadores NOVA, uno de ellos empleado como master controlador, existiendo entre ambos una comunicación paralelo de 16 bits que proveen una velocidad de 50 kw. por segundo entre memoria y memoria (FIG. II.4). El subsistema de adquisición de imágenes en color consiste en una cámara TVC controlada por un microprocesador 280, que usa una interface/buffer en

paralelo, que permite digitalizar una imagen de 256x256 puntos con 4 bits de resolución para cada color primario. Como display emplea un sistema Genisco de 12 bits que vuelca la imagen reconstruida en un monitor de video.

La estructura general del sistema por nosotros desarrollado consta básicamente de 3 subsistemas:

- Minordenador y subsistema de display.
- Host computer
- Subsistema de adquisición de imágenes.

Su organización estructural se representa en la FIG. II.5 y pasamos a continuación a describirla.

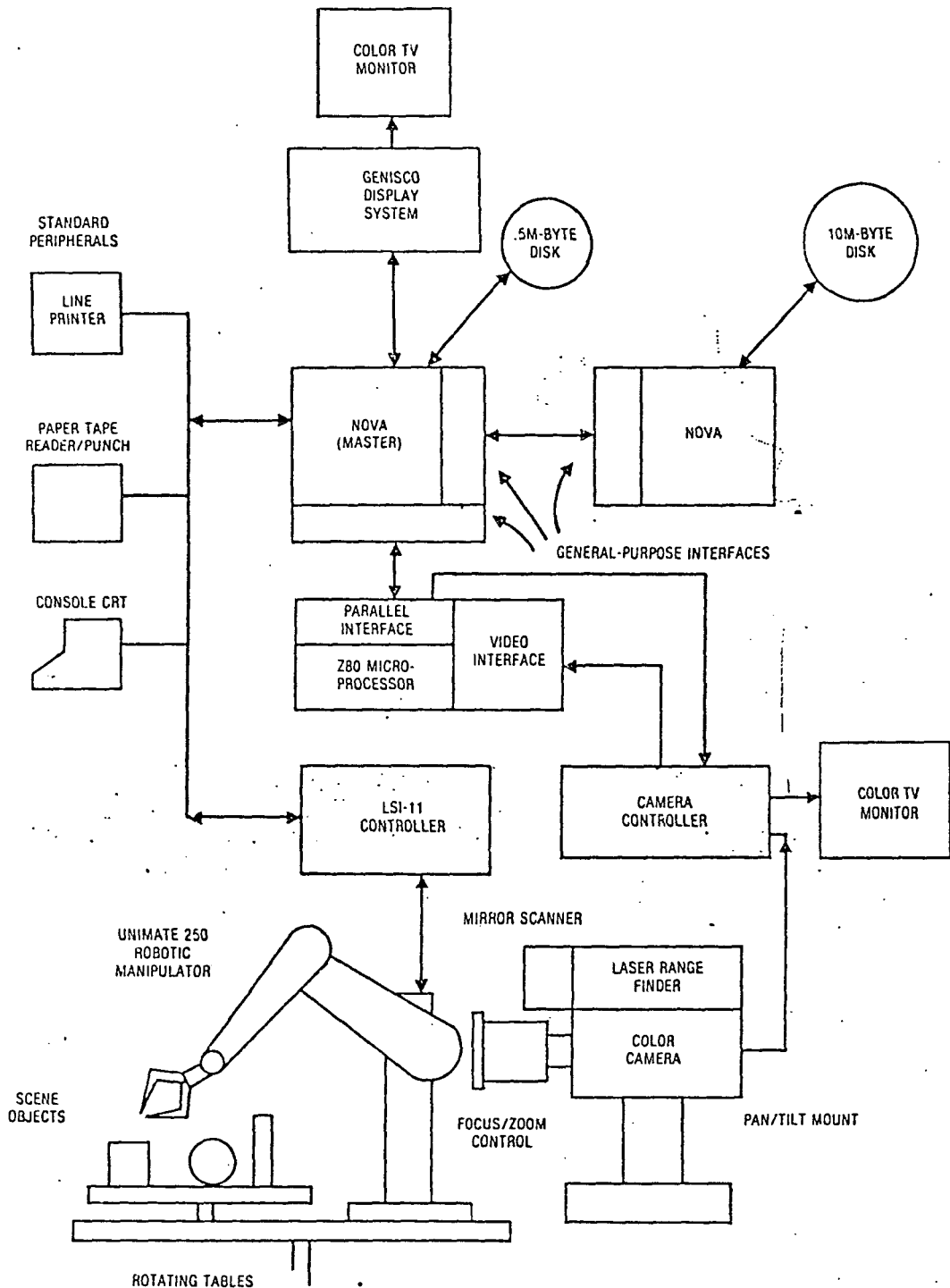


FIG. II.4 Sistema desarrollado por Jarvis [...].

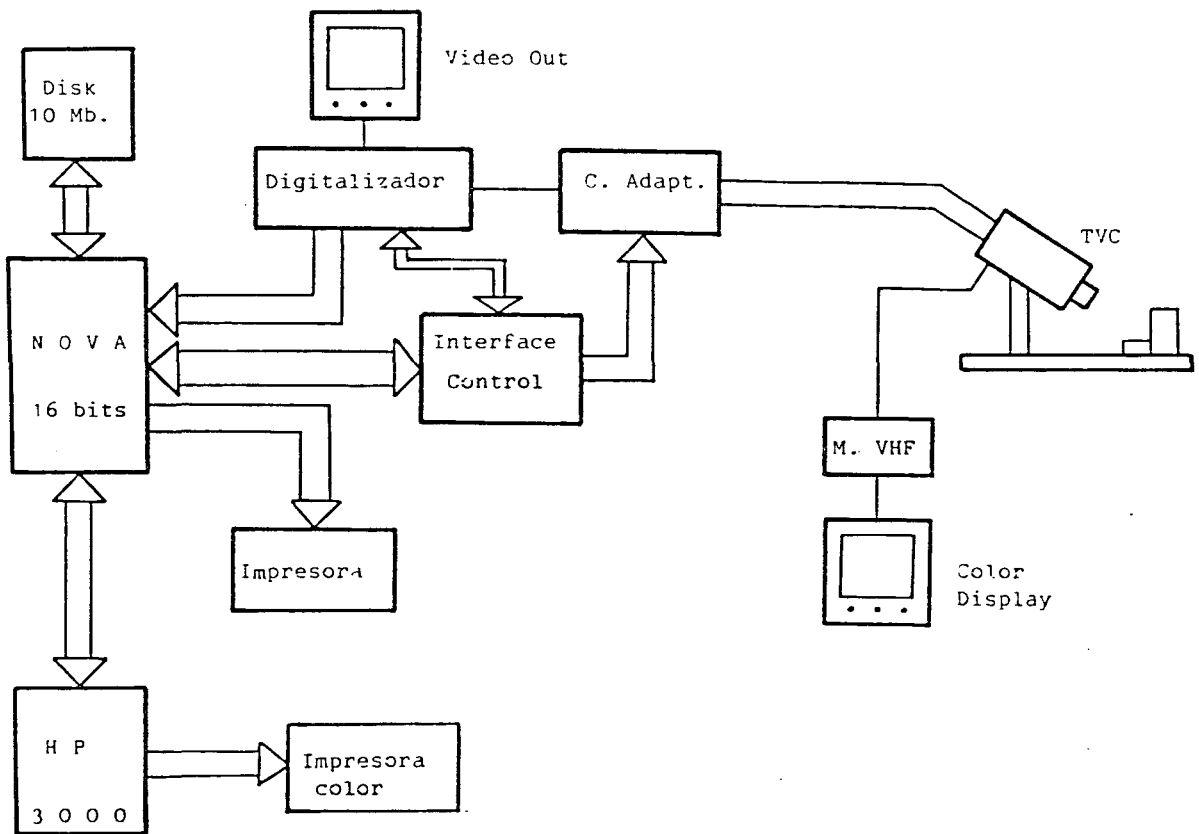


FIG. II.5 Esquema general del sistema de adquisición de imágenes en color

2.2 MINIORDENADOR Y SUBSISTEMA DE DISPLAY

=====

Para el control y gobierno del sistema hemos empleado un ordenador tipo NOVA de 16 bits. Desde el punto de vista hardware la unidad central de proceso es la que gestiona el tratamiento y la ejecución de las tareas de control. Este tipo de miniordenador proporciona al usuario una gran facilidad de control de periféricos y dispone de forma accesible desde el exterior un bus de señales de control y de datos que le permiten gestionar la comunicación con los más variados periféricos. Para ello se debe desarrollar la interface adecuada que permita normalizar todo el conjunto de señales que utilizan tanto la CPU como el periférico, en lo que se refiere a niveles, temporización, sentido, ect., para así evitar todo tipo de interferencias en el normal funcionamiento de los subsistemas conectados.

El miniordenador dispone de una consola mediante la cual el operador accede al sistema. Este mediante el Command Line Interpreter (CLI) reconoce y ejecuta todo el repertorio de comandos que el usuario envía, relativos al uso y manejo de ficheros, tomas de imágenes, impresión, ect., Usa el sistema operativo RDDS (Real-Time Disk Operating System), que posee

software múltitarea y la opción de tratamiento en tiempo real.

El Bus Externo de Comunicaciones tiene un bus de datos de 16 bits (DATA0-DATA15) de E/S, cuyos valores son los complementarios del contenido del acumulador utilizado en una instrucción de E/s. Además posee un Bus de direcciones (DS0-DS5) que permite seleccionar con sus 6 bits hasta 64 periféricos. Se posibilita así el uso del bus de datos sólo a aquel periférico cuyo código se seleccione. En éste bus se usa además el siguiente repertorio de señales:

a) La señal de control DATIA, que indica al periférico que le suministre datos y se toma su nivel activo únicamente debido a la instrucción DIA, que desencadena la entrada de datos desde el periférico al acumulador especificado en la instrucción de E/S.

b) La señal de control DATOA, equivalente a la anterior pero que afecta a la instrucción de salida DOA, indicando que los datos están estables y por tanto preparados para ser adquiridos por el periférico seleccionado.

c) Por último la señal SELD indica en su nivel activo que el periférico direccionado ha completado

la operación en curso. Esta señal está relacionada con las instrucciones SKPDN y SKPDZ que permiten comprobar a la CPU si algún periférico le ha interrumpido.

La memoria central dispone de 64kbytes (32kw de 16 bits), y el sistema operativo reside en memoria, ocupando aproximadamente la mitad inferior de esta. Por otra parte una imagen de las empleadas, de formato 128x116 puntos, ocupan aproximadamente unos 15 Kw. Como interesa una velocidad efectiva y eficiente de proceso conviene que la imagen completa resida en memoria, minimizandose los lentos accesos a disco, lo que nos deja de 1 a 2 kw libres para el programa de proceso. En éstas condiciones se hace necesario trabajar en lenguaje ensamblador para gestionar el programa de adquisición, pues al estar escrito en nemotécnicos del código máquina el uso de memoria para programa es mínimo. Además debido al alto número de datos a tratar en la etapa de adquisición, el empleo del lenguaje ensamblador es poderosamente útil por la rapidez que proporciona, aunque por otra parte sea extremadamente laboriosa su programación.

Sin embargo la utilización de programas en lenguaje de alto nivel para el tratamiento posterior en host computer facilita la creación de algoritmos

de proceso de imágenes. Por ello éste miniordenador se emplea sólo como sistema de adquisición rápida, dejándose el procesado para el host computer al cual se encuentra conectado ya en lenguaje de alto nivel. Los programas que gobiernan el protocolo de comunicación y tratamiento en la conexión NOVA-II-HP3000 fueron desarrollados en [34],[12], y los utilizaremos para la transmisión de imágenes.

Como sistema de representación se usa una impresora tipo PRINTONIX que permite el acceso al punto por software y por tanto reproducir las imágenes inicialmente adquiridas. Es éste sistema display el que ha condicionado el singular formato de las imágenes de entrada. Se poseen dos formas de presentación basadas en densidad local de puntos sobre un pixel de 6x6 puntos. Una primera que asocia a cada punto un valor, a través de una tabla de 37 niveles, y otro que da a cada punto un valor que es una ponderación del entorno, dejando el resultado final en 10 niveles, usando pixels de 3x3.

2.3 SUBSISTEMA DE ADQUISICION DE IMAGENES

=====

Este subsistema es el elemento que permite la interacción de la cámara con el minicomputador y puede dividirse en los siguientes elementos:

- a) Digitalizador.
- b) Interface de Control.
- c) Circuitos de Adaptación de señal.
- d) Cámara TVC.
- e) Moduladores y Displays.

2.3.1 DIGITALIZADOR

=====

El aparato digitalizador empleado es el modelo 270A de COLORADO VIDEO Inc., dispone de dos registros internos el X y el Y. El registro Y de coordenada vertical se inicializa a 0 después de recibirse el sincronismo vertical del primer campo de cada cuadro y avanza con incremento de 2 a cada sincronismo horizontal. Tras el siguiente sincronismo vertical

del segundo campo se inicializa a 1, incrementándose con cada sincronismo horizontal, contando las líneas impares. Su valor máximo es 579 correspondiendo al lado inferior de la imagen.

El registro X de coordenada horizontal se inicializa a 0 después de cada sincronismo horizontal incrementándose cada 115-120 ns., alcanzando su valor máximo de 511 al final de la línea, que corresponde al lado derecho de la imagen.

Para comunicarse con el miniordenador, el digitalizador emplea un bus formado por un conjunto de líneas de entrada por las que recibe las coordenadas X e Y y dos bits para indicar a que registro X, Y o Z se refiere, un bit L/O que indica si se ha de cargar simplemente, o además comenzar la operación de digitalización y un bit de R/W que indica si se trata de una operación de lectura o escritura. Como señales de control de entrada/salida se usa el STROBE que se utiliza para comunicar cuando los datos de salida son válidos y el STATUS para indicar cuando se ha completado³ operación solicitada, y si esta era de digitalización que los datos de salida corresponden al nivel de señal del punto en cuestión (FIG. II.6)

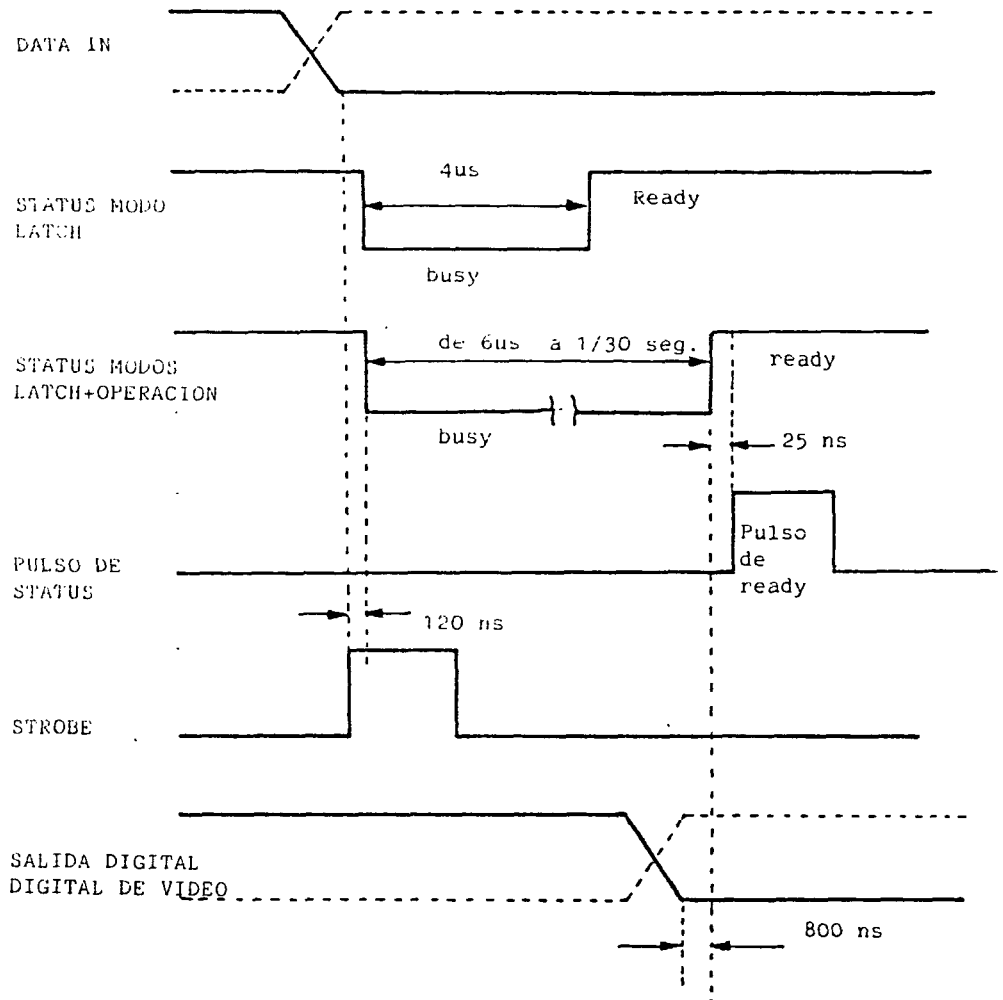


FIG. II.6 Diagramas de tiempos del digitalizador.

2.3.2 INTERFACE DE CONTROL

=====

Básicamente ésta interface cuenta con una circuitería de conversión de señales de entrada al digitalizador de salida del mismo, de selección de periférico y de control de circuitos de adaptación

cada una de las cuales se explica a continuación.

El bus de datos de E/S del miniordenador se hace corresponder con los buses de datos de salida del digitalizador y del bus de entrada del mismo. La primera fase de adaptación consiste en doce puertas NOT que permiten complementar a lógica positiva los datos del bus del miniordenador. El puerto 1 de 8 bits (8212), FIG. II.7, se encarga de conectar el bus de datos de salida del digitalizador al bus del miniordenador únicamente cuando éste lo solicita mediante una instrucción de DIA, que coloca en el bus de direcciones el código del periférico correspondiente a ésta interface. Para posibilitar su direccionamiento se situa la patilla CLR a nivel alto (1) y la MD a nivel bajo (0), con lo que los datos de sus ocho entradas procedentes del digitalizador se cargarán en el puerto, pues se mantiene el STB a nivel (1). Con éstas medidas el puerto 1 queda seleccionado por DS1 y DS2 y con la señal DATIA los ocho bits de datos aparecen a la salida. Mientras esto no sucede el puerto 1 (8218) permanece con sus salidas en alta impedancia.

La circuitería decodificadora de la dirección del puerto 1 comprende seis puertas NOT y una puerta NAND que recibe por sus seis entradas bien la salida

de una puerta NOT o bien directamente del bus de direcciones de E/S del miniordenador. Elegimos como código de éste puerto 1 el 56 en octal, cuando se produzca ésta combinación en el bus de direcciones, la salida de la puerta NAND se pone a cero permitiendo abrir el puerto y dejando el paso de las señales de control por las dos puertas NAND representadas en la figura II.7. La primera de ellas transforma la señal de STATUS, activa a nivel alto e indicadora del final de operación del digitalizador, a través de una puerta NOT, en la señal SELD activa a nivel bajo que usa el miniordenador para comprobar tal circunstancia. La segunda permite el paso hacia el digitalizador en forma de señal STROBE (que es la que se encarga de cargar los datos de entrada en los registros internos del digitalizador), de la señal DATOA procedente del miniordenador y es la que indica al digitalizador que se le envían datos por el bus.

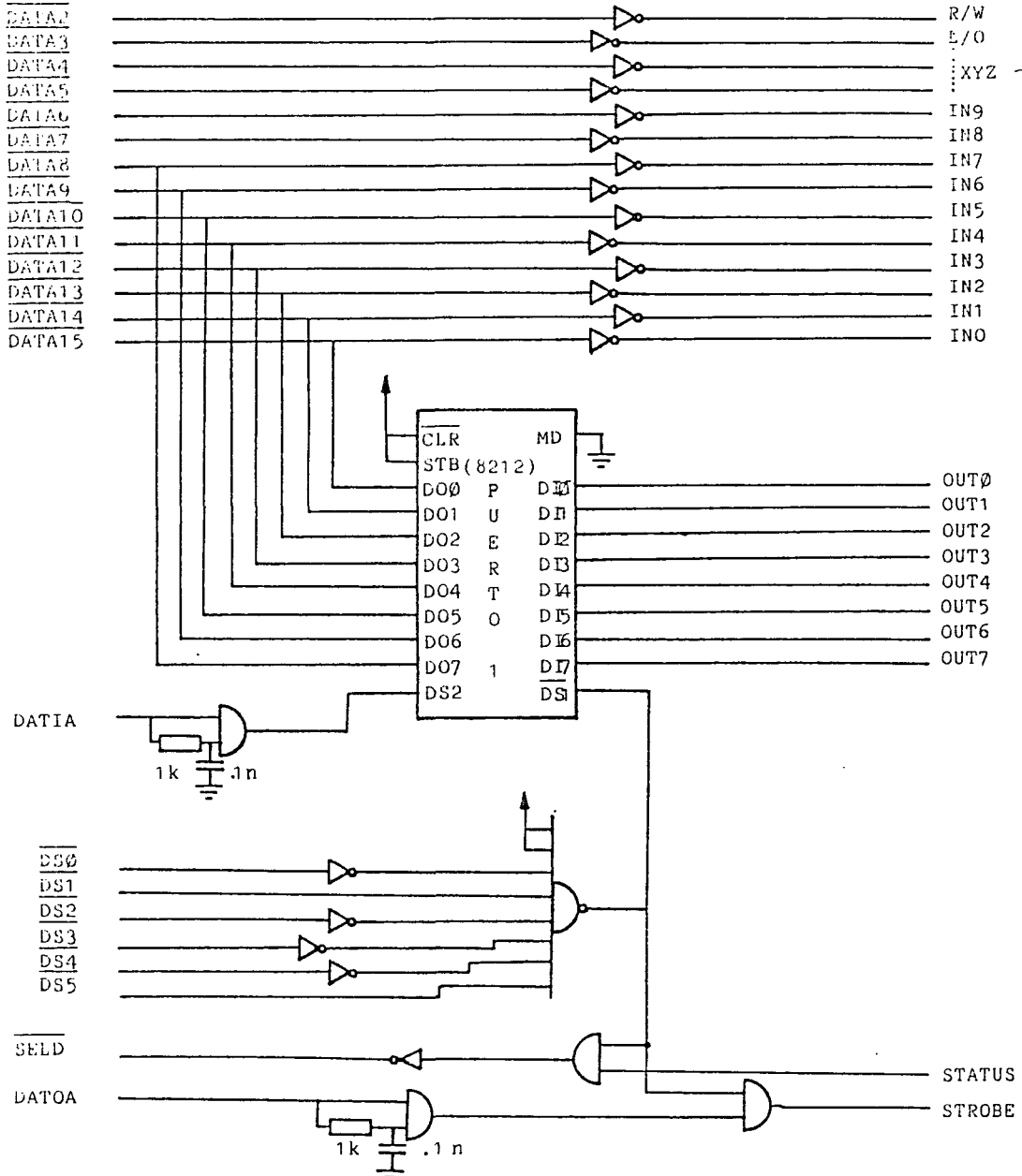


FIG. II.7 Circuiteria de comunicacion

Digitalizador-Miniordenador.

El puerto 2 (8212), (FIG. II.8), se encarga de la conexión de datos de el miniordenador con la lógica de decodificación de color. El código usado para este periférico es el 40 en decimal. Cuando se coloque en el acumulador correspondiente el código

del color deseado mediante una instrucción de DOA se deposita en el bus de direcciones el código 40, que permite direccionar al puerto 2, si simultáneamente por su patilla STB le llega el pulso activo correspondiente. Para que esto sea posible han de estar el MD a nivel bajo y el DS1 a nivel alto. El pulso de DATOA producido por la instrucción DOA habilitará los datos DATA13-DATA15 que poseen la información del color que se está seleccionando. Para no cargar excesivamente las puertas del bus se emplean unos drivers no inversores 8286. la lógica de decodificación la constituye una puerta NOT y una NAND de ocho entradas cuya salida esta conectada a la patilla DS2 del puerto 2 (8212).

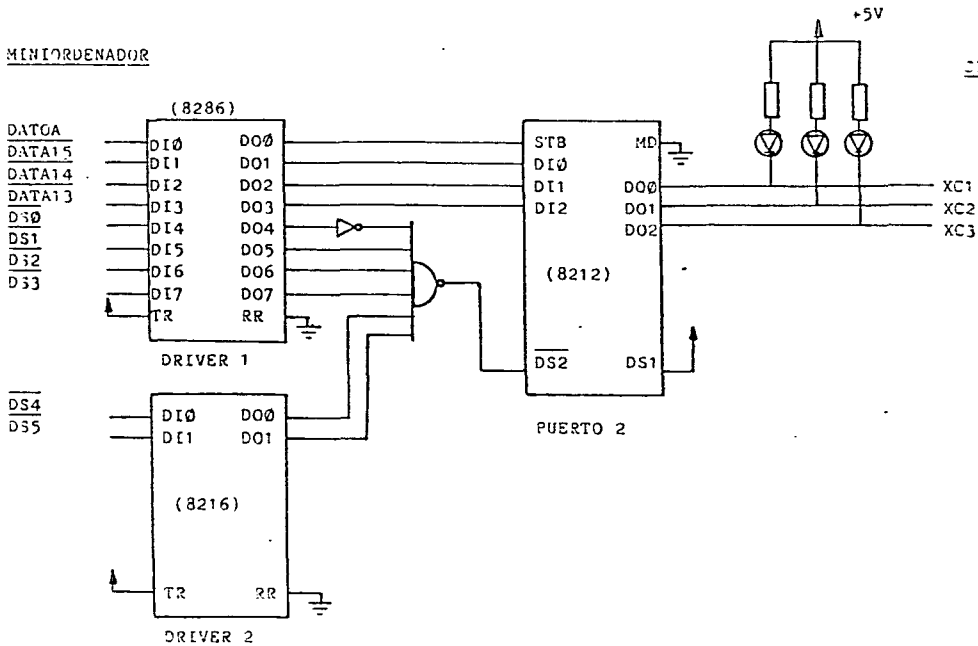


FIG. II.8 Circuitaría de selección de color."

2.3.3 CIRCUITOS DE ADAPTACION DE SEÑAL

=====

los constituyen un conjunto de elementos destinados a adecuar las señales que llegan de forma no procesada procedentes de la cámara TVC, de manera que conformen señales de video normalizadas. El esquema general de estos circuitos puede verse en la FIG. II.9. En ella se observa como las señales de control XC1-XC3 que proceden de la interface de control permiten seleccionar mediante un múltiplexor

el color deseado a procesar. A ésta etapa de selección le sigue otra de adaptación que normaliza las señales de comunicación con el digitalizador. Para no perturbar el normal funcionamiento de la cámara TVC se usa un transistor de efecto campo que proporciona una alta impedancia de entrada , además con la relación de resistencias adecuada se amplifica 1.5 veces la señal de video para tener luego mejor respuesta en contraste. Como la señal a la salida de ésta etapa está invertida, será preciso invertir también los sincronismos, con un transistor de video convencional, realizándose después una adición de tipo resistivo. Como el fet posee una buena respuesta en frecuencia puede emplearse de nuevo para invertir y tener la señal de video en correcto signo. Por motivos de saturación del transistor en la etapa de salida la amplificación de ésta última etapa será la unidad.

Por último con un montaje seguidor de emisor usando un transistor de video (BF208) podemos conseguir una señal de video normalizada , y una impedancia de salida de 75 ohmios para así ya conectar al digitalizador.

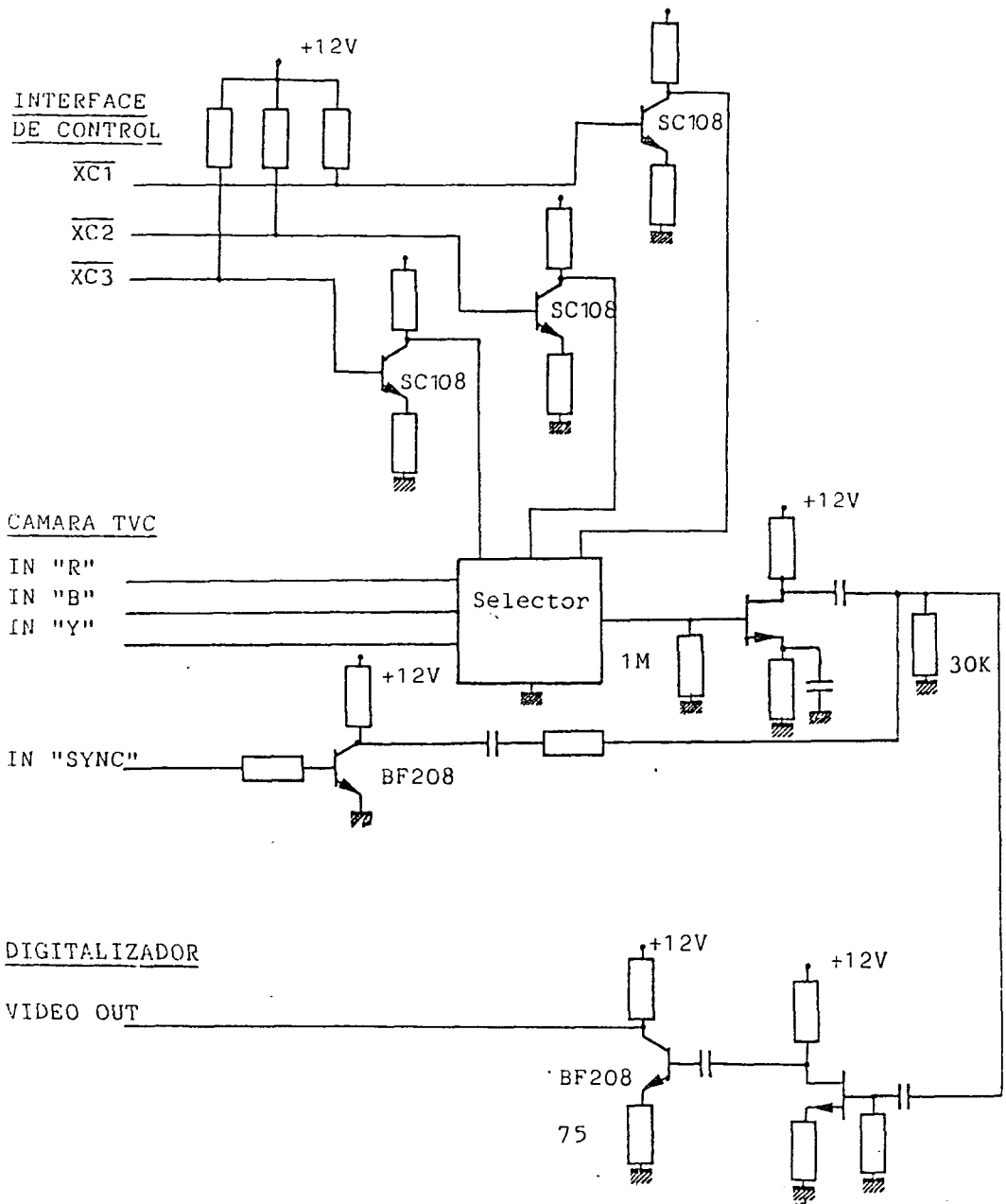


FIG. II.9. Circuitos de adaptación de señal.

2.3.4 CAMARA TVC E ILUMINACION

=====

Hemos empleado un modelo comercial, la HITACHI VK-C800E, que proporciona salida standard sobre 75

ohmios , de 1 Vpp, con la subportadora de color incluida. Es una cámara de un solo tubo y obtiene la información cromática mediante unas retículas coloreadas situadas en el recorrido de la luz. El barrido de exploración transforma la organización espacial de los primarios rojo y azul en dos señales diferentes además de obtener simultáneamente la luminancia.

Para obtener las componentes Y,R,B, en forma no modulada se ha accedido a su interior antes de la formación del video compuesto con B-Y y R-Y. Bajo estas condiciones éstas señales están disponibles con un nivel de continua de 5 voltios y 1 Vpp de señal, pero sin sincronismos, los cuales serán preciso adicionarlos posteriormente.

Un aspecto muy importante a tener en cuenta en el uso de la cámara TVC para la adquisición de imágenes en color es la iluminación. Existen dos factores que caracterizan la iluminación, el primero de ellos es el nivel luminoso (lux) proporcionado por las fuentes de luz, que ha de ser más elevado que el correspondiente a tomas de blanco y negro , y que debe estar situado entre los 2500 y 1500 lux. El segundo de ellos se refiere a la temperatura de color de la luz utilizada para iluminar la escena, que debe

mantenerse constante en el transcurso del proceso de adquisición.

Como se sabe es posible especificar la cromaticidad de la luz emitida por una fuente incandescente en función de la temperatura del cuerpo negro que proporciona la misma distribución espectral, es decir, aquella que suministra una luz de análogas características espectrales. Aunque la distribución a lo largo del espectro no coincida con la del cuerpo negro, la temperatura de color indica aquella temperatura en la que la radiación del cuerpo negro tiene la máxima semejanza en lo que a efectos visuales se refiere, con la de la fuente. Las cámaras en general están concebidas para trabajar con fuentes luminosas de unos 3.200 K ; sin embargo, la respuesta colorimétrica no se altera por derivas poco importantes de esta temperatura de color siempre que las cámaras sean reequilibradas en las condiciones reales de trabajo, admitiéndose variaciones del orden de 2000 K [9.]. En el caso del modelo utilizado este ajuste se realiza manualmente sobre una superficie blanca, introducida dentro del campo de la cámara en las condiciones reales de iluminación.

2.4 PROCESO DE ADQUISICION'

=====

El proceso de captación de las tres componentes cromáticas R,B, e Y se realiza en dos fases diferenciadas: en la primera de ellas se selecciona el color deseado y en la segunda se realiza la digitalización de la componente cromática en curso.

Fase A

El programa de control mediante una instrucción de DOA coloca en el puerto A del miniordenador el dato D15 a D13 que le permitirá seleccionar el color (FIG. II.10), simultáneamente en el bus de direcciones desde DS0 a DS5 aparece el código 40 en decimal que como periférico tiene la unidad de circuitos de control. La señal DATOA que se origina como consecuencia de una instrucción DOA se usa como señal de STROBE para el puerto 2 (8212) de la interface de control, quedando en su salida de D01 a D03 de forma permanente las señales XC1 a XC3 hasta una nueva selección de color. Estas señales actúan sobre el multiplexor permitiendo al conjunto digitalizador miniordenador realizar la toma monocromática.

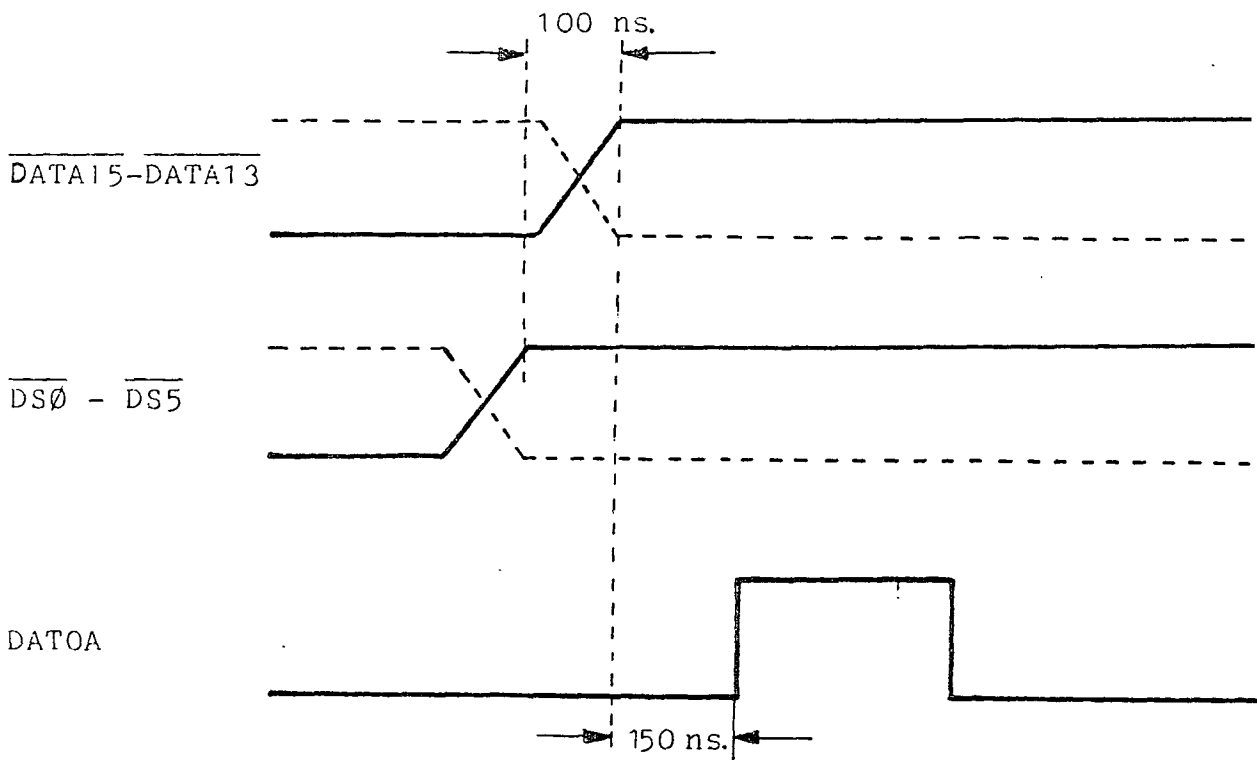


FIG. II.10 Diagramas fase selección de color

Fase B

De forma repetitiva para cada uno de los puntos a adquirir, se producirá la secuencia que describimos a continuación. El miniordenador envía las coordenadas X e Y (o una sola de ellas si no existe variación de la otra) junto con la señal de realizar la operación, lo que realiza mediante el bit L/O. Tras ello comprueba la señal de STATUS del digitalizador y cuando ésta le indique que ha sido realizada la conversión, el miniordenador procederá a la lectura de los 8 bits del valor de señal digitalizado (FIG. II.11). Durante la operación de

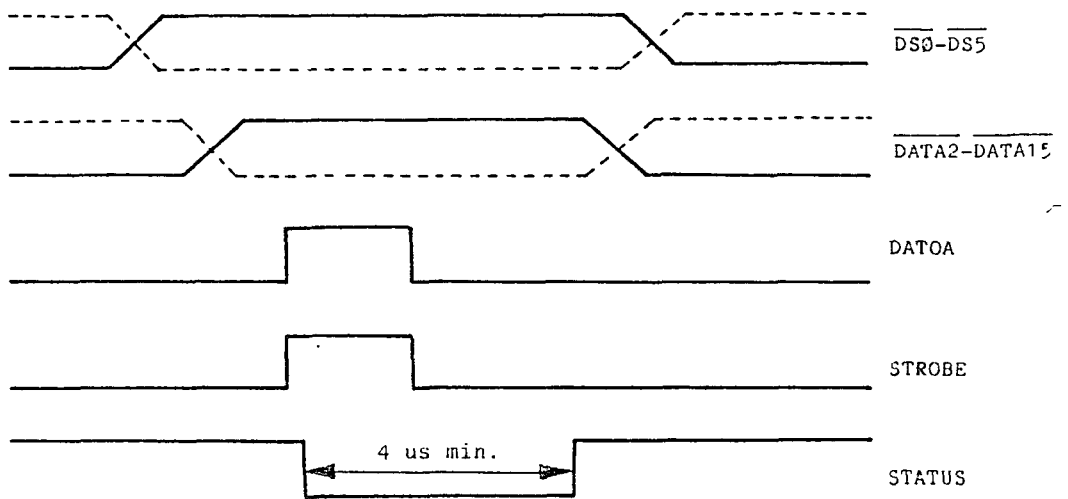
escritura del miniordenador éste coloca primero, en el bus de direcciones, el código del puerto 1 (8212), que da lugar a la señal de selección. Después, sobre el bus de datos aparecen los valores que estaban en el acumulador empleado en la instrucción de E/S generándose el pulso DATOA. Con la señal originada como resultado de direccionar el puerto 1 y con la señal DATOA (FIG II.11), se genera la señal STROBE que carga los datos en el registro correspondiente del digitalizador. Como consecuencia baja la señal de STATUS que volverá a subir cuando se halla completado la operación de escritura, la duración de esta circunstancia es aproximadamente de 4 microsegundos.

La señal de STATUS indicará al minicomputador el fin de operación pasando a su estado alto, para ello se conecta la señal STATUS del digitalizador al bus en la señal SELD. Con instrucciones en ensamblador de tipo SKPDN o SKPDZ se podrá testear el bit SELD comprobándose así el momento adecuado para leer el dato obtenido.

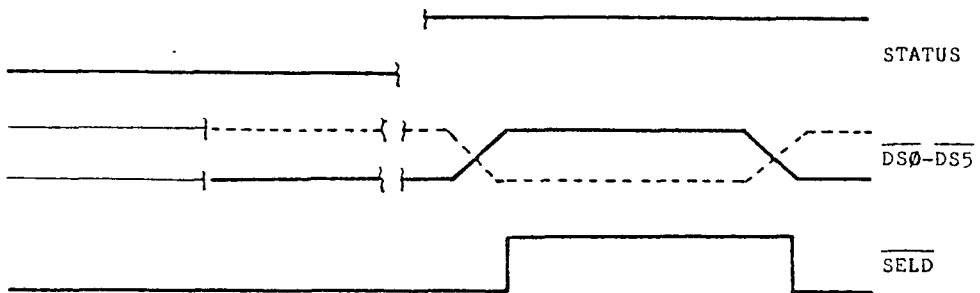
Este proceso de lectura de datos por el minicomputador puede verse en la figura II.11; el digitalizador presenta en el bus de salida los datos y una vez que éstos sean válidos, la señal STATUS

pasa a nivel activo, de forma que una vez comprobada esta circunstancia por el programa de control se ejecuta una instrucción DIA que procede a efectuar la lectura de los mismos. Esta instrucción genera las señales DATIA y de dirección del puerto 1, haciendo que los datos pasen al bus del miniordenador y de ahí al acumulador elegido.

ESCRITURA EN EL DIGITALIZADOR DESDE EL COMPUTADOR



TEST DE FIN DE OPERACION



LECTURA DE DATOS DEL DIGITALIZADOR

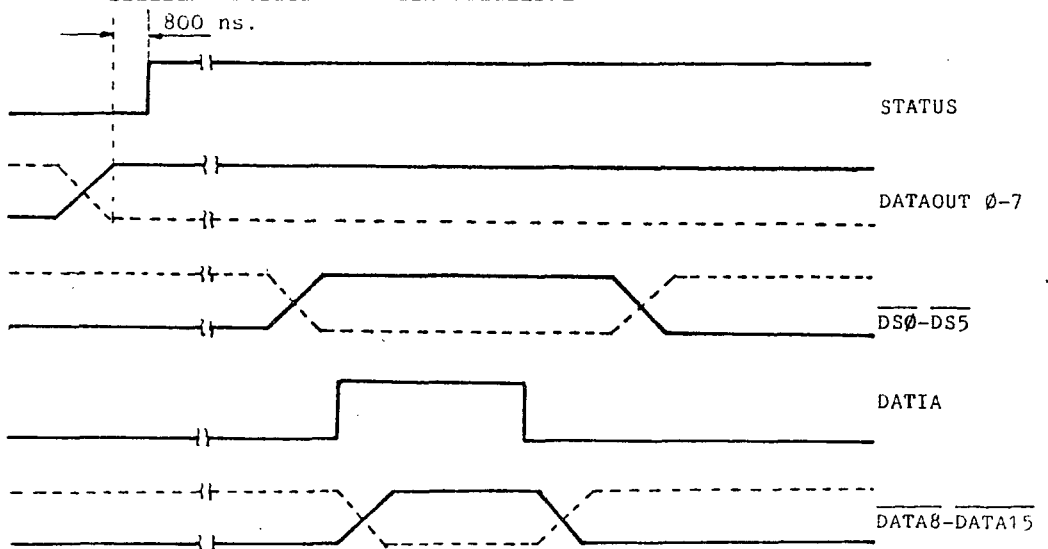


FIG.II.11 Diagramas de tiempos de la comunicación Digitalizador - Miniordenador.

2.5 SOFTWARE DE CONTROL Y ADQUISICION

=====

2.5.1 PERTURBACIONES DE CAMARA Y DISTORSIONES

=====

Para el funcionamiento del sistema antes descrito es preciso la creación de un paquete de programas que permitan gestionar la adquisición de una imagen controlando cada una de las variables que en él aparecen. En nuestro caso, el programa de adquisición usado es el MFGINZONA.SR, escrito en ensamblador, que describiremos más adelante.

Sin embargo por múltiples causas tales como óptica de cámara, distorsiones de señal, ruido, ect., se introducen un conjunto de errores en el proceso de captación que es preciso corregir inicialmente para minimizar los errores en posteriores procesos y facilitar una adecuada generación de resultados. Entre las perturbaciones más significativas están:

a) Errores motivados por perturbaciones de cámara

b) Distorsiones.

a) Perturbaciones de Cámara

En el procesamiento de información el conjunto Cámara Video-Digitalizador introduce malformaciones en la imagen final digitalizada que pueden y deben ser subsanadas para evitar futuros errores. El error más significativo producido es el error de Shading, que está motivado por la óptica y el tubo de la cámara, que inducen un ennegrecimiento de la imagen en sus bordes (FIG. II.14a). Onoe et al. [78], proponen un circuito corrector analógico que puede ser añadido a un sistema de cámara de televisión, donde se intenta eliminar la perturbación de cámara no deseada por ajuste, introduciendo una imagen blanca (FIG. II.12a). Sin embargo este problema puede también solucionarse por proceso software ya en el interior del sistema de forma que se simplifique al máximo la circuitería adicional de video.

Supongamos una imagen de entrada $f(x,y)$, que es adquirida por la cámara. Dadas las características de las perturbaciones introducidas, se puede realizar con bastante exactitud la suposición de que la óptica y el tubo introducen una perturbación de tipo parabólico y de efecto multiplicativo, esto es la salida del conjunto cámara ordenador en su aspecto

espacial se supone de la forma:

$$f_s(x,y) = f_i(x,y) * H(x,y)$$

$$H(x,y) \equiv k(1 + A(x-x_0)^2 + B(y-y_0)^2) \quad (2.1)$$

Es decir, este conjunto se comporta a todos los efectos como un filtro multiplicativo $H(x,y)$. Proponemos entonces una modificación por software del fichero de memoria de la forma:

$$H_i(x,y) = 1/H(x,y) \quad (2.2)$$

El paso previo residirá en encontrar los valores de k, A, B, x_0, y_0 , adecuados de este filtro. Para ello introducimos al sistema una imagen con un nivel de iluminación constante $f_i(x,y)$ caracterizada en términos de sus muestras por f_{ij} sobre la red de muestreo, y observamos la salida digitalizada real $f_s(i,j)$ (FIG.II.12b). Establecemos la correspondencia:

$$f_s(i,j) \text{-----} k(1 + A(x-x_0)^2 + B(y-y_0)^2)$$

De manera que ajustamos la señal de salida a un paraboloides cuya ecuación es de la forma mencionada. Los distintos parámetros del filtro pueden ser estimados minimizando la función $E(K, A, B, x_0, y_0)$ definida por:

$$E(k, A, B, i_0, j_0) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (f_{ij} - k(1 + A(i - i_0)^2 + B(j - j_0)^2)) \quad (2.3)$$

Donde $N=128$ y $M=116$. Los valores de los parámetros los encontraremos haciendo:

$$\frac{\partial E}{\partial K} = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (-2)(1 + A(i - i_0)^2 + B(j - j_0)^2) W(i, j) = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial A} = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (-2k)(i - i_0)^2 W(i, j) = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial B} = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (-2k)(j - j_0)^2 W(i, j) = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial i_0} = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (i - i_0) 4kA W(i, j) = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial j_0} = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (j - j_0) 4kB W(i, j) = 0$$

$$W(i, j) = f_{ij} - k(1 + A(i - i_0)^2 + B(j - j_0)^2)$$

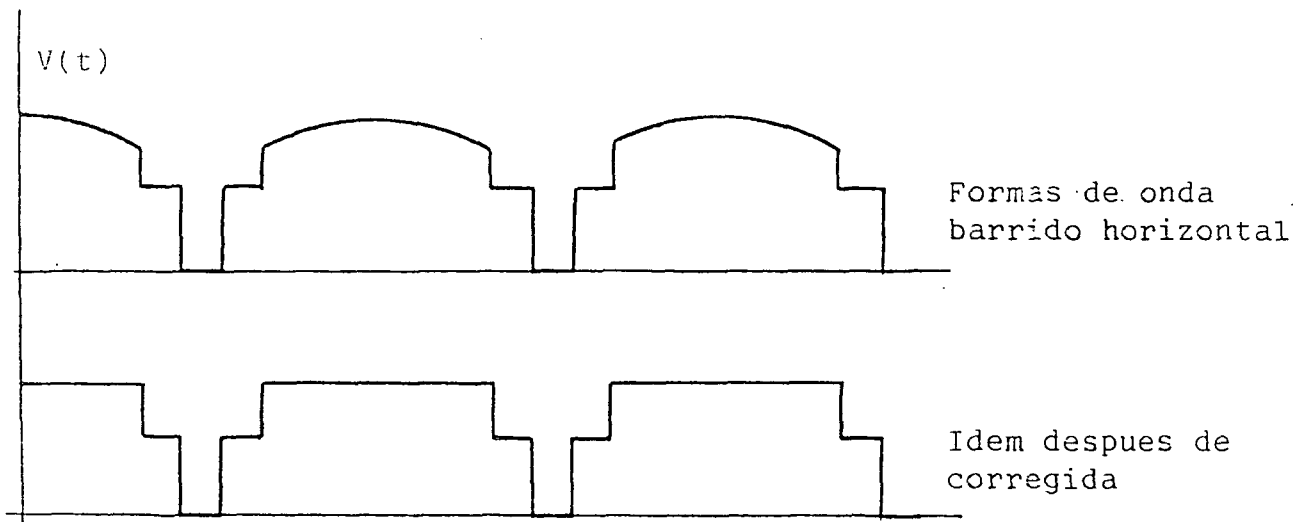


FIG. II.12a. Formas de señal de video de una imagen blanca.

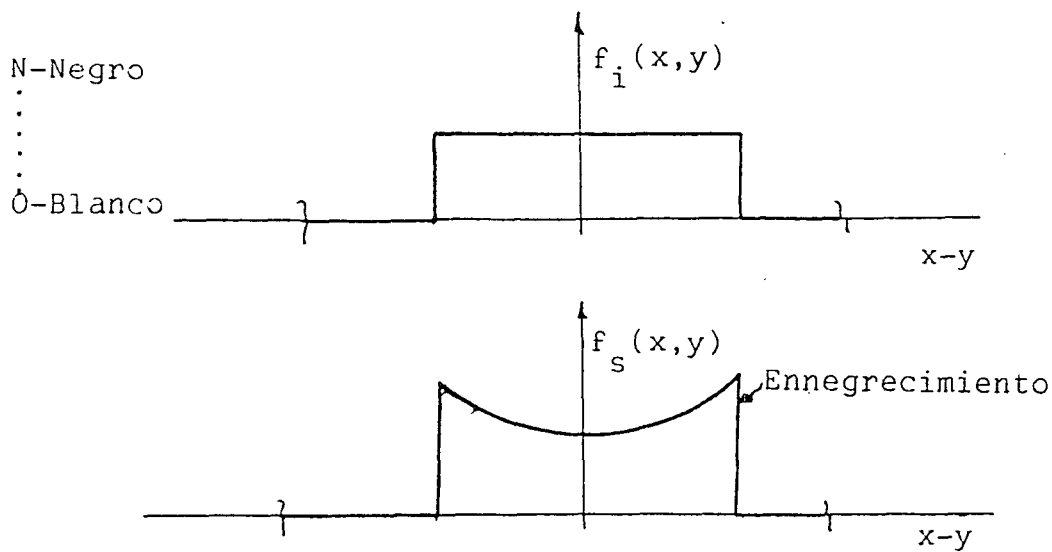


FIG. II.12b. Representación de las imágenes de entrada y salida según las hipótesis realizadas de ajuste parabólico.

La resolución de este sistema y el programa que evalúa los distintos coeficientes se recoge en el apéndice. La solución para i_0 es:

$$i_0 = \frac{1}{2} \frac{(N \epsilon i f^2 - (\Sigma i)^2 (\epsilon f)) (N i^3 - (\Sigma i) (\epsilon i^2)) - (N \epsilon i^2 - (\Sigma i)^2) (N \epsilon i^2 f - (\Sigma i^2) \epsilon f) - (N \epsilon i f - \Sigma \epsilon f) (N \epsilon i^4 - (\Sigma i^2)^2) - (N \epsilon i^3 - (\Sigma i) (\epsilon i^2)) (N \epsilon i f - \Sigma \epsilon f)}{(2.4)}$$

Análogamente puede obtenerse j_0 sin más que cambiar i por j en la expresión anterior. Para encontrar A , B , primero es preciso conocer los coeficientes a_{ij} , los cuales se evalúan en el Apéndice B.1, resultando:

$$A = \frac{a_{22} b_1 - a_{21} b_2}{a_{22} a_{11} - a_{21} a_{12}}$$

$$B = \frac{a_{11} b_1 - a_{12} b_2}{a_{22} a_{11} - a_{12} a_{21}} \quad (2.5)$$

El método descrito aunque no elimina totalmente el ruido si lo aminora. Sin embargo puede recurrirse a la técnica de realizar las tomas en la zona central de la imagen. Con ello se consigue que los errores de cámara y óptica sean prácticamente imperceptibles. El método experimental seguido para evaluar los

coeficientes consistió en realizar una toma de una imagen con un tono de gris uniforme , la cual da forma contrastada por un procedimiento de impresión que realiza una igualación de las frecuencias de aparición de cada tono de gris y que veremos más adelante se recoge en la figura II.12. El efecto de la corrección puede verse en las imágenes de las figuras II.13 y II.14.

Para otro tipo de cámaras en que se desconozca la naturaleza de la perturbación introducida pueden usarse técnicas de máscaras, tomando una imagen previa sin objetos y realizando la substracción con las sucesivas imágenes problema.

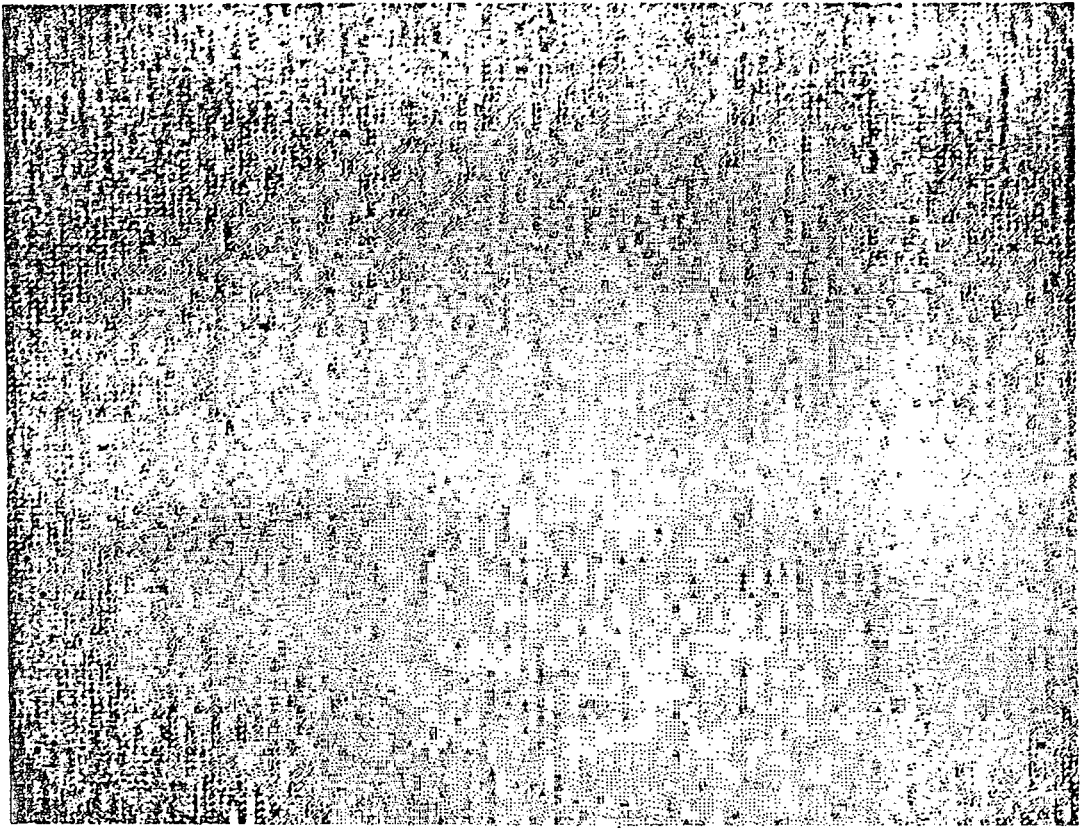


FIG. II.13. Imagen de ajuste contrastada.

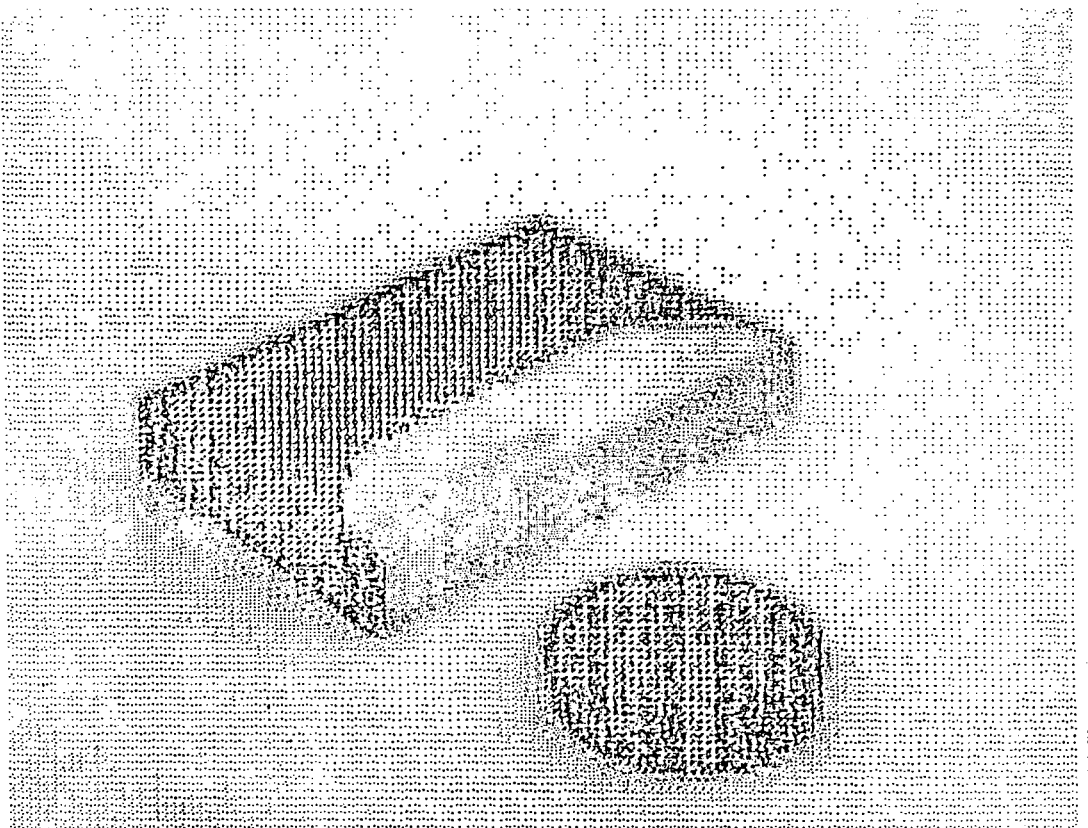


FIG. II.14a Imagen original donde puede apreciarse el efecto de bordes introducido por la óptica de la cámara.

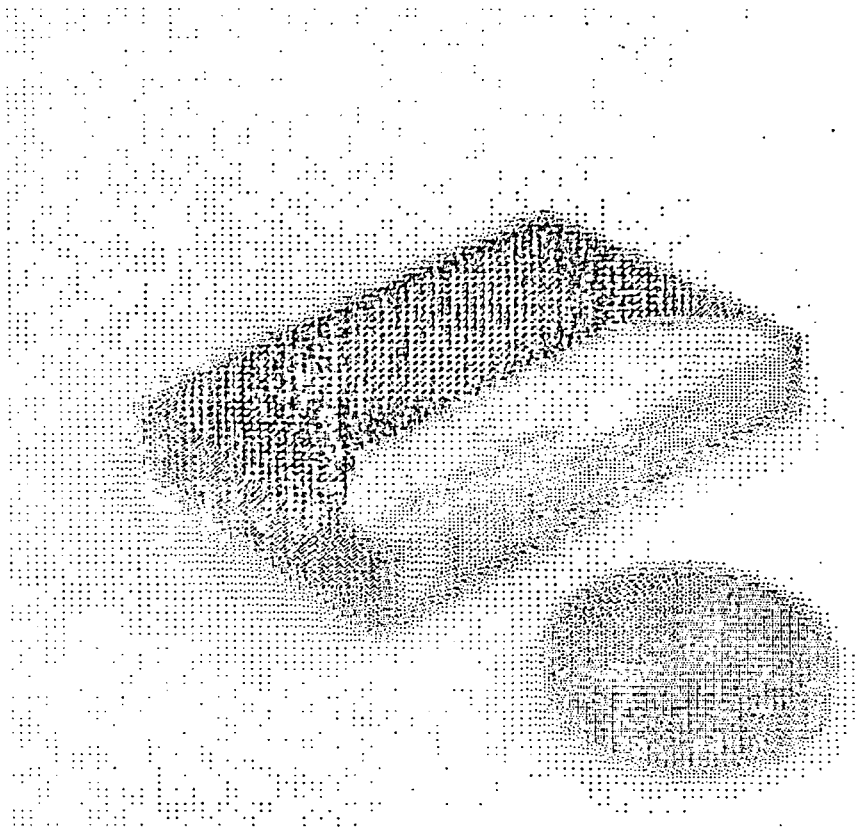


FIG. II.14b. Resultado de una corrección de tipo parabólico sobre la imagen figura anterior.

b) Distorsiones

Desafortunadamente los cambios de magnitudes y distancias en la imagen de salida respecto de la de entrada no se pueden evaluar de forma exacta. Por ello recurrimos a un método experimental consistente en realizar la adquisición de una imagen con patterns de dimensiones conocidas y analizar como estas dimensiones se reproducen en la imagen de salida, observando las variaciones de proporcionalidad con patrones de ajuste. En el caso de nuestro sistema el error global resultó ser de tipo homotético en la dimensión vertical, produciéndose un acortamiento de las magnitudes en esta dirección. Este error se corrige realizando una expansión de tipo interpolativo, de forma que la imagen resultante queden ampliadas por un factor de escala adecuado. Este tipo de correcciones las realiza el programa MFCAMCOR.SR, escrito en ensamblador y que se recoge en el apéndice de programas (5.2).

2.5.2 PROGRAMAS DE ADQUISICION

=====

El programa principal es el MFGINZONA.SR ,que se encarga de gestionar la adquisición de cada una de las diferentes tomas que componen la imagen. Posee dos subrutinas principales una la GINZONA.SR que realiza la adquisición de cada imagen monocromática y otra TEST1.SR que se encarga del manejo y mantenimiento de ficheros.

Si seguimos el diagrama de flujo de la FIG.II.15 la primera operación que se realiza es crear un fichero denominado FOTO donde se van a ubicar las sucesivas tomas que se harán con la subrutina GINZONA.SR. El sistema minicomputador permite usar desde un programa en ensamblador alguno de los comandos del núcleo del sistema operativo del miniordenador resultando así más sencillas las operaciones de manejo de ficheros en disco. En el caso de error en alguna de estas operaciones por accesos indebidos por intentar crear ficheros ya creados, ect., el programa está dispuesto para quedarse automáticamente parado en la dirección siguiente a la llamada al núcleo, evitando así las tomas erróneas.

Una vez creado FOTO se purgan los ficheros FOTO1,FOTO2,FOTO3, donde se van a situar las imágenes de cada una de las componentes. La fase siguiente reside en seleccionar la primera componente de la imagen en color, para ello se emplean los contadores CONCOL y COLOR , uno en sentido decreciente que indicará el final de las tres tomas y otro en sentido creciente, que posibilitará el envío al multiplexor de salida la componente deseada en cada caso. Cuando ya se han inicializado los parámetros que se indican en la figura II.16 para tomar sólo la parte central de la imagen, para así minimizar las perturbaciones de la óptica de cámara, la subrutina GINZONA se encarga de la toma y de grabarla posteriormente en FOTO. Una vez realizado este proceso, la subrutina TEST1 realiza la asignación a cada uno de los distintos ficheros (FIG.II.16). Cuando ya se han realizado todas las tomas se cierran los ficheros utilizados y se retorna al sistema operativo.

El digitalizador permite obtener en forma digital el nivel de señal de cualquiera de los 512 x 580 puntos de la imagen que recibe de la cámara. Sin embargo por razones de optimización de memoria y por condicionamiento del formato de salida para aprovechar al máximo la superficie impresa se realiza la adquisición solo de los 128x116 puntos

correspondientes a la zona central de la imagen. Dicho entorno viene determinado por cuatro parámetros que son las coordenadas respecto del total de la esquina superior izquierda, el número de líneas (Nx), el número de columnas (Ny) y el número de puntos horizontales y verticales entre dos puntos de la imagen incidente a adquirir (INCX, INCY). Los valores de nivel de señal digitalizados están comprendidos entre 0 y 255 y se almacenan en memoria del sistema a partir de la dirección etiquetada por IMAGE por líneas horizontales separadas entre si 128 palabras.

La duración de una línea horizontal es de 64 microsegundos lo que indica que entre dos puntos consecutivos existe una duración algo superior a los 100 ns. Se ha comprobado que el miniordenador tarda aproximadamente entre 10 y 15 microsegundos como mínimo en tomar sucesivamente dos puntos pues la duración de una instrucción es en promedio superior a un microsegundo. Por ello las imágenes se han de tomar de sucesivos cuadros. El digitalizador va a recibir alternativamente puntos de coordenadas pares e impares, por ello es preciso considerar el entrelazado entre dos campos. Se van a presentar en general dos casos, según que el salto interpuntos en sentido vertical sea par o impar. Si estamos en el caso de salto par, resultará que todos los puntos que

se obtengan corresponderán a campos de la misma paridad (Pares o Impares) y no se realizaran tomas de los campos de paridad opuesta. Por tanto el proceso de adquisición de los sucesivos puntos consistirá en tomar de una columna vertical de cada cuadro, únicamente del cuadro que corresponda, y realizar un desplazamiento de la misma para conseguir el barrido de toda la imagen. En el caso de salto impar las coordenadas de los puntos que componen cada columna serán alternativamente pares e impares, por ello habrá de adquirirse la media columna par en el campo par e inmediatamente después adquirir la otra mitad impar en el campo impar. Con ello se mantendrá la velocidad de una columna por cuadro siendo el resto análogo al caso anterior. Existen pues dos posibilidades que vienen determinadas por el parámetro INCY que indica el tipo de salto vertical y que se recibe desde el programa principal.

En el caso par, tras iniciarse el conjunto de parámetros que emplea la subrutina GTCOL y el bucle de columnas, entra en el mismo del cual retornará cuando haya adquirido la componente cromática de la imagen (CY=0). Si hubiéramos adoptado la filosofía de que INCY fuera impar ocurriría que habría que inicializar los registros para comenzar el bucle de columnas, pero ocurre que CNY, que es el número de

puntos por columna adquiridos por GTCOL se hace igual a la mitad del número total de puntos por columna NY, y complementariamente el de saltos (CINCY) se hace el doble. Idénticamente ocurre con el acumulador AC0. A continuación GTCOL se encarga de la primera media columna y seguidamente se preparan los parámetros para la adquisición de la otra media. Posteriormente se calculan los nuevos valores de los parámetros para cada nueva columna, repitiéndose el ciclo hasta la adquisición de la imagen completa. Por razones de flexibilidad en las tomas se ha dejado opcional el emplear un tipo u otro de procedimiento de captación.

La subrutina GTCOL.SR (FIG.II.18) es la que se encarga de tomar los niveles de señal de una columna de puntos de la componente cromática de una imagen. Tras almacenar la dirección de retorno envía el acumulador 3 (AC3) al digitalizador para comunicarle la coordenada Y de la columna más el código de cargar dato con una instrucción de E/S. Posteriormente se carga el contador de puntos y se entra en el bucle de adquirir todos los puntos pertenecientes a la columna, en orden creciente, pues es el mismo en que la cámara trasmite. Para cada punto se envía con el acumulador 1 al digitalizador la coordenada X junto con su código y el de realizar la operación de muestreo y digitalización. Después de evaluar la

siguiente coordenada X el sistema espera a que se complete el proceso de adquisición del punto especificado. Cuando se halla finalizado éste, se procederá a leer el nivel de señal en el acumulador 3 mediante una instrucción de entrada (DIA 3,56). Este valor se almacena en la dirección de memoria correspondiente, se calcula la nueva dirección y se decrementa el contador comprobándose si se ha llegado al final de la columna, en cuyo caso retorna al programa principal.

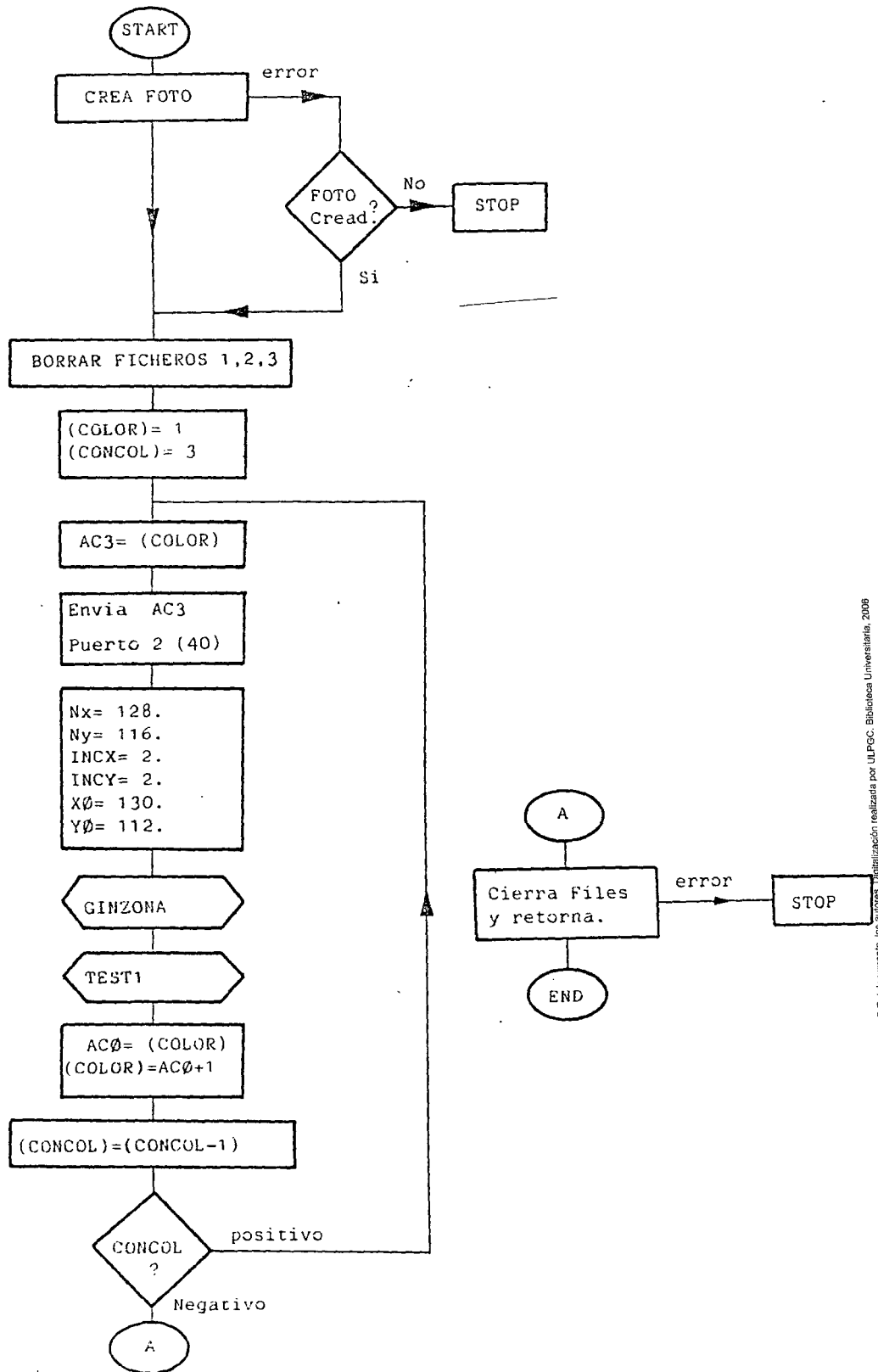


FIG.II.15. Organigrama del programa Principal de Adquisición MFGINZONA.SR.

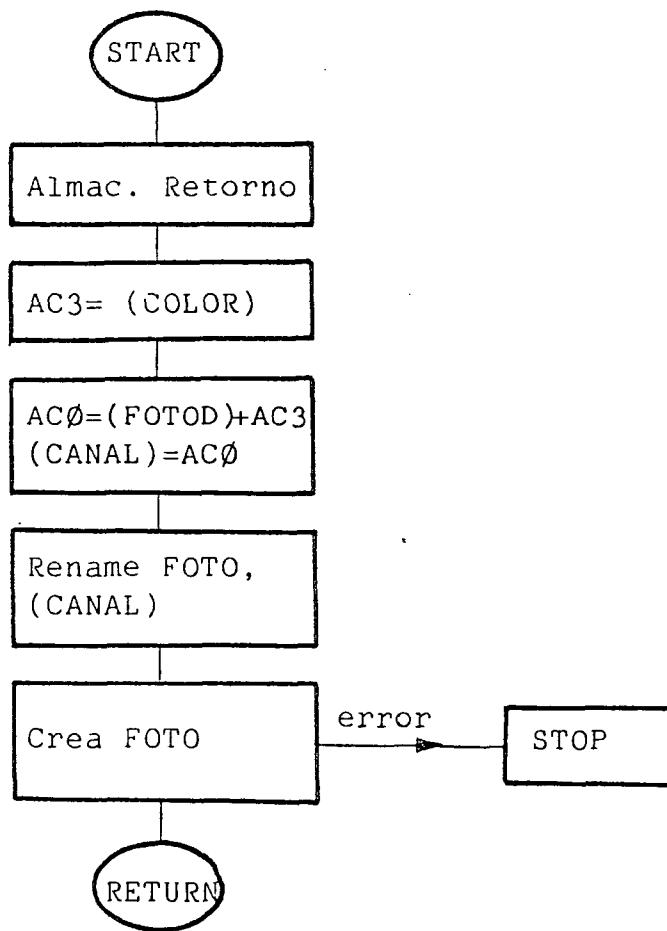


FIG.II.16. Organigrama de la Subrutina TEST1.SR

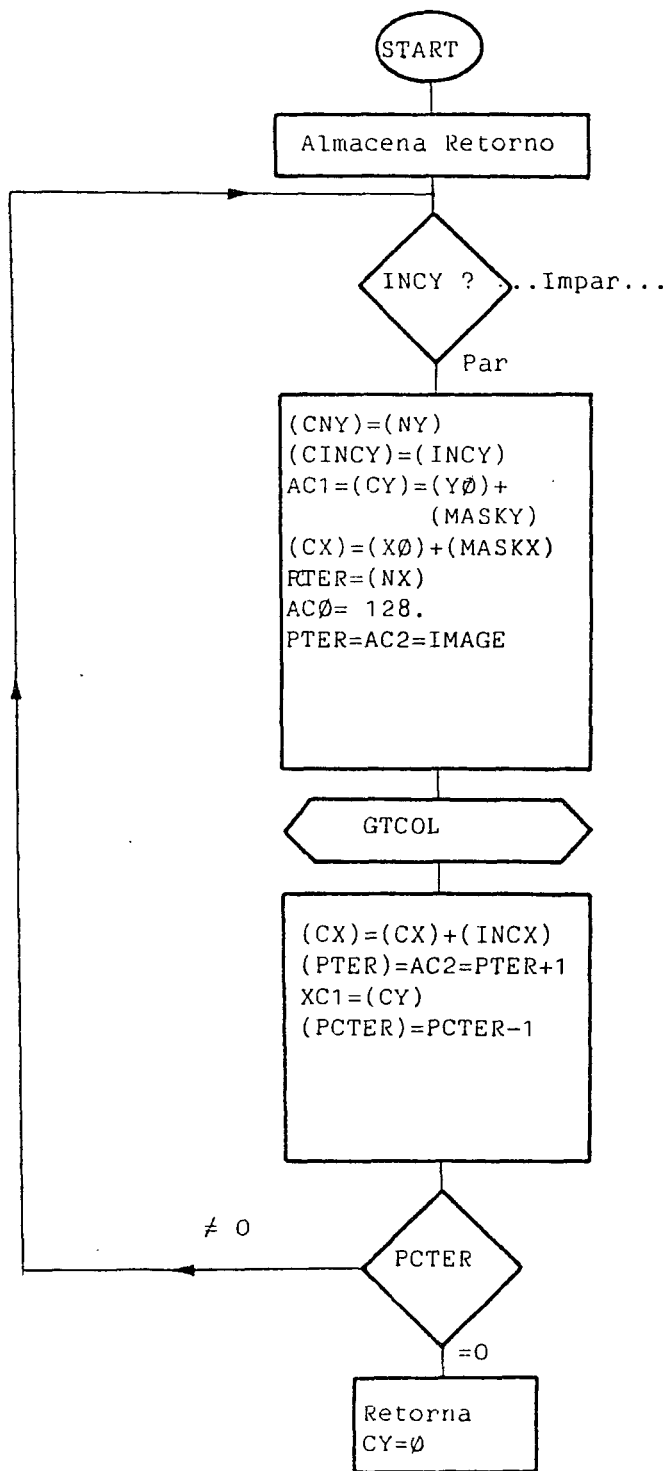


FIG. II.17. Organigrama de la Subrutina GINZONA.SR

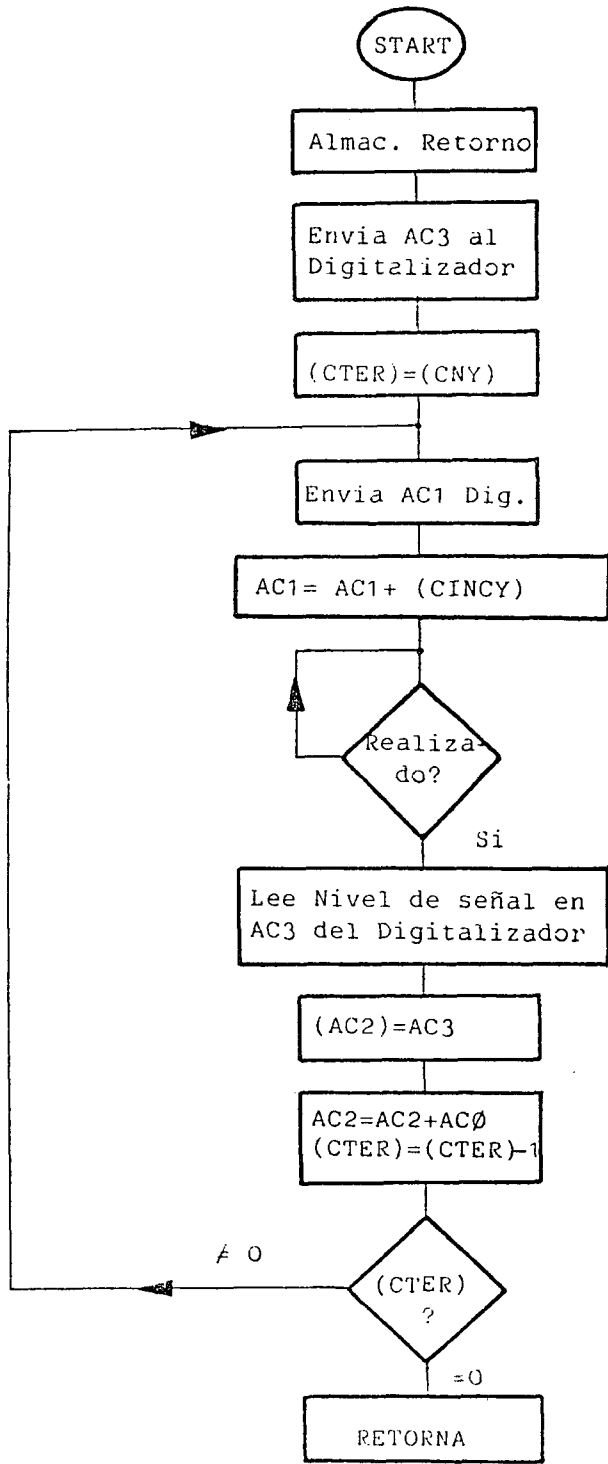


FIG. II.18. Organigrama de la Subrutina GTCOL.SR

2.6. SISTEMAS DE PRESENTACION

=====

Para la necesaria interacción entre el sistema de adquisición y su entorno humano se hace preciso un medio para poder evaluar de manera real y sencilla los resultados que en el acontecer del proceso de las imágenes en curso se produzcan. Por ello se han desarrollado varios sistemas de visualización de resultados para poder reproducir, en una cierta medida, las imágenes obtenidas en los distintos tratamientos siendo posible emplear diferentes métodos de reconstrucción de las mismas, que a continuación pasamos a analizar.

2.6.1 PLANTEO GENERAL DEL PROBLEMA

=====

Inicialmente consideraremos la función $f(x,y)$ definida en el plano de la cual sólo conocemos sus muestras, por efecto del muestreo y digitalización previos sobre una red de separación $\Delta x, \Delta y$. Denotemos a estas muestras por f_{nm} , identificables como:

$$f_{nm} = f(n \Delta x, m \Delta y) \quad (2.6)$$

Construyamos la función discreta $f^D(x,y)$ a

partir de las muestras anteriores como sigue:

$$f^D(x,y) = \Delta x \Delta y \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} f_{nm} \cdot \delta(x - n \Delta x) \delta(y - m \Delta y)$$

(2.7)

Sea $F^D(\omega_x, \omega_y)$ la transformada de Fourier de la función anterior y consideremos a $F(\omega_x, \omega_y)$ como la transformada de Fourier de la imagen original objeto de estudio, cuya reconstrucción se pretende abordar. La T. de F. (transformada de Fourier) de (2.7) es:

$$\begin{aligned} F^D(\omega_x, \omega_y) &= \iint_{-\infty}^{\infty} \exp(-j(x\omega_x + y\omega_y)) dx dy = \\ &= \Delta x \Delta y \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} f_{nm} \exp(-j(n\Delta x\omega_x + m\Delta y\omega_y)) \end{aligned}$$

(2.8)

Función que resulta ser periódica y de periodo $2\pi/\Delta x, 2\pi/\Delta y$ (FIG.II.19). Los valores de la función $f(x,y)$ en los puntos distintos los de la red coincidirán teniendo en el filtrado paso bajo debido al muestreo (Teorema de Shannon) a partir de la antitrasformada de $F^D(\omega_x, \omega_y)$ en un periodo y serán cero fuera de él. Sea $f'(x,y)$ la función continua que

se obtendría a partir de este filtrado sobre $F^D(w_x, w_y)$ es decir:

$$f'(x, y) = (1/2\pi)^2 \iint_R \exp(j(xw_x + yw_y)) F^D(w_x, w_y) dw_x dw_y$$

(2.9)

Donde R representa la región en el plano W definida por $-\pi/\Delta x < w_x < \pi/\Delta x$ y $-\pi/\Delta y < w_y < \pi/\Delta y$. Si sustituimos en (2.9) $F^D(w_x, w_y)$ por su valor, podemos encontrar una expresión para $f'(x, y)$:

$$f'(x, y) = (\Delta x \Delta y / (2\pi)^2) \int_{-\pi/\Delta x}^{\pi/\Delta x} \int_{-\pi/\Delta y}^{\pi/\Delta y} \exp(j(xw_x + yw_y)) dw_x dw_y$$

$$\sum_n \sum_m f_{nm} \exp(j(n\Delta x w_x + m\Delta y w_y)) dw_x dw_y = (\Delta x \Delta y / \pi^2)$$

$$\sum_n \sum_m f_{nm} \frac{\text{sen}(\pi(x - n\Delta x)/\Delta x)}{(x - n\Delta x)} \frac{\text{sen}(\pi(y - m\Delta y)/\Delta y)}{(y - m\Delta y)}$$

Agrupando términos y simplificando nos resulta:

$$f'(x,y) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} f_{nm} \text{SINC}(\pi(x-n\Delta x)/\Delta x) \cdot \text{SINC}(\pi(y-m\Delta y)/\Delta y) \quad (2.10)$$

Ecuación que nos determina aquella imagen que nos da el óptimo de similitud respecto a la imagen original, aunque como parece razonable en procesos discretos, las sumatorias serán finitas y se cometerán errores en la reproducción de esta imagen.

A efectos cubrir la necesidad de poseer una representación de la imagen pueden adoptarse distintas alternativas para el proceso de reconstrucción. En principio podría pensarse en aproximar la imagen sólo por los puntos definidos de la red, es decir:

$$\begin{aligned} x &= k \Delta x \\ y &= h \Delta y \end{aligned} \quad (2.11)$$

Si sustituimos en (2.10) obtenemos:

$$f'(k \Delta x, h \Delta y) = \sum_n \sum_m \text{SINC}(\pi(k-n)) \text{SINC}(\pi(h-m)) \quad (2.12)$$

0 para $k \neq n$

Como: $\text{SINC}(\pi(k-n)) =$

1 si $k = n$

Es idénticamente para $\text{SINC}[\pi(h-m)]$, tendremos entonces que:

$$f'(k\Delta x, h\Delta y) = f_{kh} \quad (2.13)$$

Es decir reconstruimos la imagen de salida asociando a cada pixel de área $\Delta x \Delta y$ definido por sus coordenadas k, h un único valor en todo él y de magnitud f_{kh} , tendríamos lo que en analogía con la terminología temporal serían bloqueadores de orden cero. Sin embargo podemos realizar algunos ajustes interpolativos dividiendo cada pixel en otros de menor área y proporcionando a cada uno de estas divisiones o subpixels un valor que sea función del entorno de pixels vecinos. Este peso relativo del entorno puede evaluarse de muy diversas formas, por ejemplo si suponemos:

$$\begin{aligned} x &= k \Delta x / 4 \\ y &= h \Delta y / 4 \end{aligned} \quad (2.14)$$

Podemos reconstruir la función en estos nuevos puntos como resultado de una aproximación en ellos de una sinc espacial centrada en el punto de coordenadas k, h , de manera que cada subpixel tenga un valor que sea función de los valores correspondientes a un grupo de pixels cercano, según

$$f'_{kh} = \sum_n \sum_m f_{nm} \text{SINC}(\pi(k-4n)/4) \text{SINC}(\pi(h-4m)/4) \quad (2.15)$$

Para cada subpixel a partir de (2.15) pueden obtenerse los coeficientes de pesado. Si sólo consideramos el entorno inmediato al pixel para el subpixel A (FIG.II.20) caracterizado por $n=-1$, $h=+1$, el valor que le correspondería según el análisis realizado es

$$\begin{aligned} f'_{A(kh)} = & f_{00} \text{sinc}\pi/4 \text{sinc}\pi/4 + f_{01} \text{sinc}\pi/4 \text{sinc}-3\pi/4 + f_{10} \\ & \text{sinc} 5\pi/4 \text{sinc}3\pi/4 + \text{sinc}5\pi/4 \text{sinc}3\pi/4 f_{11} + \\ & f_{-1-1} \text{sinc}5\pi/4 \text{sinc}5\pi/4 + f_{0-1} \text{sinc}\pi/4 + f_{1-1} \\ & \text{sinc}3\pi/4 \text{sinc}5\pi/4 + f_{-10} \text{sinc}3\pi/4 \text{sinc}\pi/4 + \\ & f_{-11} \text{sinc}3\pi/4 \text{sinc}3\pi/4 \end{aligned}$$

De idéntica forma se obtendrían los factores de peso para el resto de los subpixels. En la figura II.21 se reflejan estos valores, que representan el factor por el cual hay que multiplicar al valor del pixel correspondiente para obtener el interpolado del subpixel en cuestión.

Si se desean realizar procesos interpolativos de esta índole caben adoptarse otras posibles soluciones funcionales para evaluar la interacción del contexto. Entre estas se encuentra el empleo de factores de

peso que resultan de aproximaciones interpolativas de tipo gaussiano, aunque ya el ajuste no conduciría a soluciones óptimas.

$$f'(x,y) \cong \sum_n \sum_m f_{nm} K_F \exp(-((x-n\Delta x)/\sigma_x)^2 - ((y-m\Delta y)/\sigma_y)^2)$$

Este tipo de interacción equivale a realizar un cierto paso bajo espacial de la imagen, lo que motivará una cierta difuminación de los bordes presentes en la misma. K_f representa el factor de peso de ajuste a la unidad para evitar alteraciones substanciales en los valores finales. Después de algunas pruebas realizadas, los mejores resultados experimentales se obtuvieron con $\sigma_x = \sigma_y = 2\Delta$, siendo $\Delta_x = \Delta_y = \Delta$, pues en estas circunstancias el efecto paso bajo mencionado no es excesivo. Si tenemos en cuenta la expresión (2.14), y extendemos las sumatorias a un entorno finito alrededor del pixel (FIG. II.20)

$$f'_{kh} = \sum_n \sum_m K_F f_{nm} \exp(-((n-k/4)^2 + (m-h/4)^2)/4)$$

(2.16)

Para los distintos subpixels A,B,C,D los factores de peso según (2.16) puede verse en la

FIG.II.22, resultando evidentemente simétricos. El término Kf_{ij} se obtuvo para que la suma del conjunto de los pesos no superase la unidad.

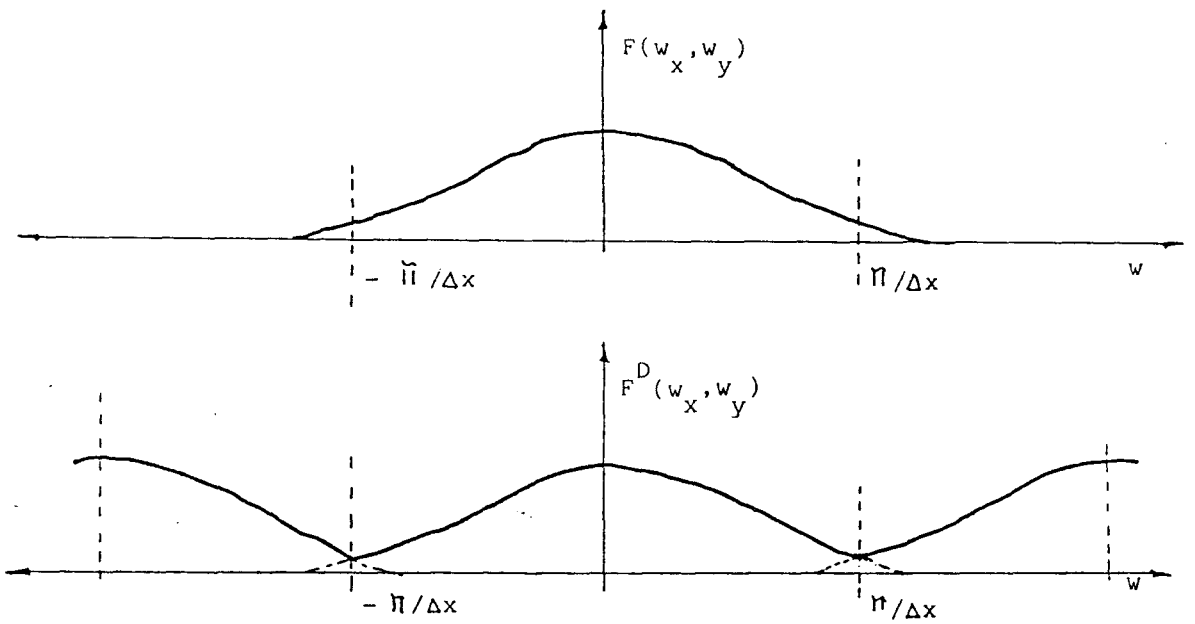


FIG. II.19. Representaciones de $F(w_x, w_y)$ y $F^D(w_x, w_y)$.

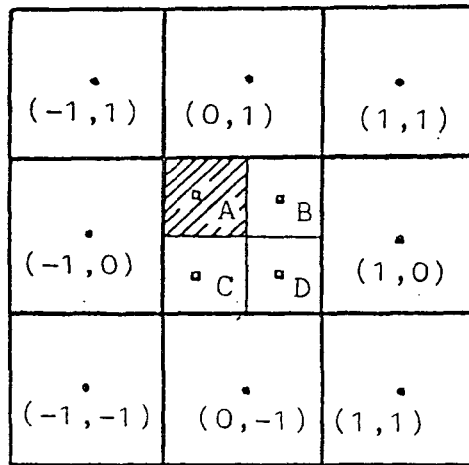


FIG. II.20. Subpixels A, B, C, D asociados a un pixel particular.

...	...	-0.054
0.27	0.81	-0.162
-0.054	-0.162	0.032

-0.054	0.27	...
-0.162	0.81	0.27
0.032	-0.162	-0.054

-0.054	-0.162	0.032
0.27	0.81	-0.162
0.09	0.27	-0.054

0.054	-0.162	-0.054
-0.162	0.81	0.27
-0.054	0.27	0.09

FIG. II.21. Valores de ajuste interpolativo usando una Sinc.

0.02	0.11	0.0
0.11	0.77	0.005
0.0	0.005	0.0

0.0	0.11	0.03
0.005	0.77	0.11
0.0	0.005	0.0

0.0	0.005	0.0
0.11	0.77	0.005
0.03	0.11	0.0

0.0	0.005	0.0
0.005	0.77	0.11
0.0	0.11	0.03

FIG. II.22. Valores de ajuste interpolativo usando funciones de tipo gaussiano.

2.6.2 ERRORES

=====

Al trabajar con imágenes discretas y de dimensiones finitas surgen los obvios errores originados por el truncamiento necesario de las funciones empleadas. Sin embargo existen otro tipo de errores que vienen motivados por la naturaleza de las funciones que intervienen en el proceso interpolativo, que originan una disimilaridad entre las imágenes ideal original y reconstruida cuantificable. Se han establecido distintas medidas de este tipo de error basados en la densidad espectral de potencia de las señales implicadas que producen resultados razonables [85]. Nosotros proponemos un método alternativo para medir este error usando como medida de semejanza el error cuadrático. Consideremos para ello el filtro de la figura II.23., donde $F_i(w_x, w_y)$ y $F_o(w_x, w_y)$ son las transformadas de Fourier de las señales de entrada y salida respectivamente correspondientes a sendas imágenes y $R(w_x, w_y)$ la T. de F. de la respuesta impulsiva del filtro en cuestión. Definiremos el error de resolución como:

$$E_R = \iint_R (F_i(w_x, w_y) - F_o(w_x, w_y))^2 dw_x dw_y \quad (2.17)$$

Donde R es el dominio de definición $-w_{ox} < w_x < w_{ox}$, $-w_{oy} < w_y < w_{oy}$. La expresión (2.17) pueda transformarse para dar:

$$E_R = \iint_R F_i^2(w_x, w_y) |1-R(w_x, w_y)|^2 dw_x dw_y$$

Definimos a continuación el porcentaje de error de resolución como:

$$\epsilon_R = \frac{E_R}{E_M} = \frac{\iint_R F_i^2(w_x, w_y) |1-R(w_x, w_y)|^2 dw_x dw_y}{\iint_R F_i^2(w_x, w_y) dw_x dw_y} \quad (2.18)$$

La señal de test empleada es $F_i(w_x, w_y) = 1$, $\forall w_x, w_y$, en cuyo caso la ecuación (2.18) nos conduce a:

$$\epsilon_R = \iint_R |1-R(w_x, w_y)|^2 dw_x dw_y / (4w_{ox}w_{oy}) \quad (2.19)$$

Realizamos seguidamente un análisis de las dos funciones de interpolación propuestas, evaluando los errores cometidos en la reconstrucción debido al método interpolativo. Si usamos una función como la

definida en (2.10), es decir si empleamos:

$$R_{\text{sinc}}(x,y) = \text{sinc}(2 \pi x / T_x) \text{sinc}(2 \pi y / T_y)$$

$$T_x = 2 \pi / w_{ox} \quad ; \quad T_y = 2 \pi / w_{oy}$$

Cuya transformada de Fourier es:

$$1 \quad \text{si} \quad |w_x| = w_{ox}; \quad |w_y| = w_{oy}$$

$$R_{\text{sinc}}(w_x, w_y) =$$

$$0 \quad \text{en } \forall \text{ otro caso}$$

Resultará que el error correspondiente deducible de (2.19) es nulo, lo que nos indica una fiel aproximación a la realidad de la imagen de salida. Para una interpolación de tipo gaussiano podemos realizar consideraciones similares. Sea

$$R_{\text{gauss}}(x,y) = (1/2 \pi \sigma^2) \exp(-(x^2+y^2)/2 \sigma^2)$$

La respuesta impulsiva del filtro, cuya T. de F. es:

$$R_{\text{gauss}}(w_x, w_y) = \exp(-(w_x^2 + w_y^2) \sigma^2 / 2)$$

Evalúemos a continuación desde (2.19) el error que motiva el uso de este tipo de función:

$$\begin{aligned} \epsilon_{R\text{gauss}} &= (4 w_{ox} w_{oy}) - 2 \iint_{R'} \exp(-(w_x^2 + w_y^2) \sigma^2 / 2) dw_x dw_y + \\ &+ \iint_{R'} \exp(-(w_x^2 + w_y^2) \sigma^2) dw_x dw_y = \\ &= (1/w_{ox} w_{oy}) (w_{ox} w_{oy} - (\pi/\sigma^2) \operatorname{erf}(w_{ox}/2^{1/2}) \operatorname{erf}(w_{oy}/2^{1/2}) \\ &+ (\pi/4\sigma^2) \operatorname{erf}(w_{ox}) \operatorname{erf}(w_{oy})) \end{aligned}$$

Siendo $\operatorname{erf}(x) = (2/\pi^{1/2}) \int_0^x e^{-t^2} dt$ [...]. Si realizamos la simplificación de hacer $w_x = w_y = w_0$ y $\lambda = w_0 \sigma$, nos resultará:

$$\epsilon_{R\text{gauss}} = 1 - (\operatorname{erf}^2(\lambda/2^{1/2}) - \operatorname{erf}^2(\lambda)/4) (\pi/\lambda^2) \quad (2.20)$$

Cuya representación puede observarse en la figura II.24. Como resulta fácilmente comprobable para valores de λ elevados el error es considerable como parecería lógico suponer si hacemos $w_0 = 2\pi/T$ y $\sigma = \alpha T$; en cuyo caso, $\lambda = 2\pi\alpha$. La curva presenta un óptimo entre 0.1 y 0.5 para los cuales el efecto de la función gaussiana es comparable al de una sinc. Sin embargo valores excesivamente bajos de λ no resultan aconsejables a efectos prácticos, pues el entorno contribuye muy poco.

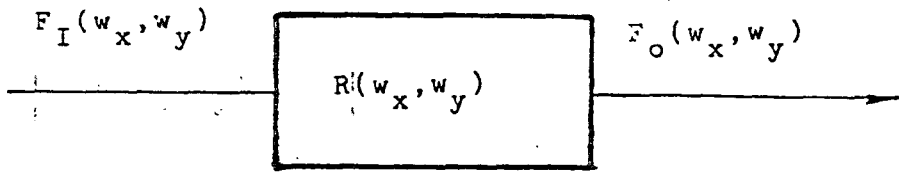


FIG. II.23. Filtro interpolador.

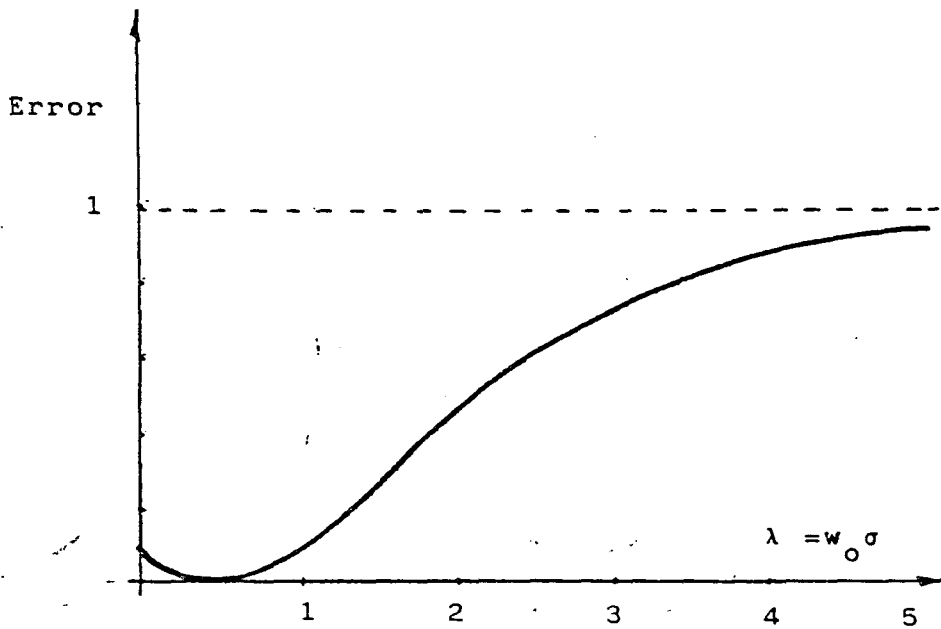


FIG. II.24 Error de interpolación para sucesivos valores de

2.6.3 SOFTWARE DE PRESENTACION

=====

En base a las distintas filosofías adoptadas a la hora de realizar la reconstrucción de la imagen de salida a partir de sus muestras, se han realizado programas de presentación que posibilitan reconstruir la imagen residente en disco mediante el uso de una impresora PRINTONIX. Esta permite su empleo como ploter con acceso al punto y puede reproducir las imágenes en una matriz de 128x116 pixels de 6x6 puntos o bien en 128x116x4 subpixels de 3x3 usando métodos de interpolación pues la imagen global sólo posee la información contenida en sus 128x116 muestras.

En el primer caso el programa que se encarga de la presentación es el PRTFOTO.SR que imprime la imagen residente en el fichero FOTO en disco en forma de tonos de gris, asignando el "0" al blanco y el "255" al negro. Para ello usa una tabla de 37 niveles de gris, realizando el ajuste desde 0-255 a 0-36 de forma proporcional. En el apartado siguiente se explica la estructura del mismo. El programa está escrito en lenguaje ensamblador y su listado así como los de las subrutinas empleadas se recogen en el apéndice. En el segundo caso el programa que realiza

la interpolación óptima usando funciones sinc es el PRT101.SR mientras el que realiza la interpolación de tipo gaussiano es el PRT102.SR. Algunos ejemplos del usos de estos programas se recogen en las figuras II.25, II.26 y II.27. El efecto paso-bajo espacial producido por el segundo método de interpolación queda bien patente.

La reducción de niveles motivada por la necesidad de imprimir subpixels de 3×3 producen en las imágenes ciertas deformaciones no deseadas que analizaremos a continuación.

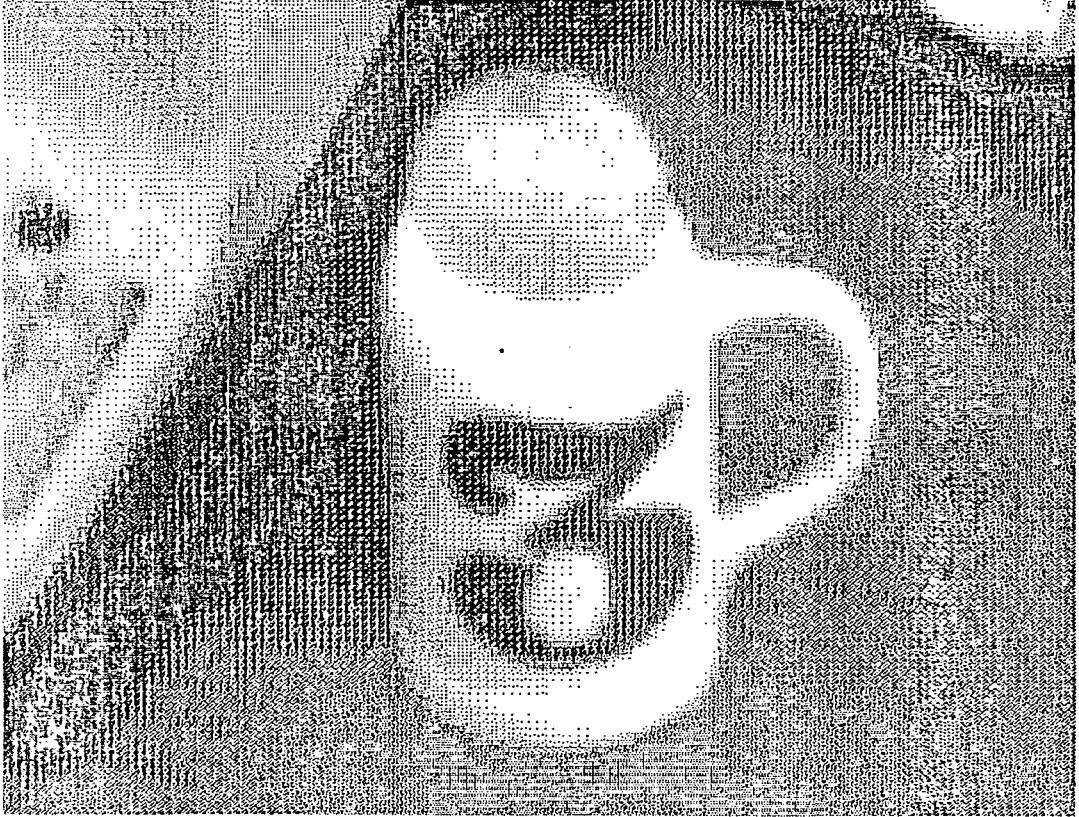


FIG. II.25. Impresión de una imagen en 36 niveles a partir del fichero FOTO usando pixels de 6x6.



FIG.II.26. Resultado de la impresión de una imagen contenida en el fichero FOTO en 10 niveles utilizando el programa PRT101.SR que proporciona una interpolación con funciones tipo sinc.



FIG. II.27. Idem II.26 utilizando el programa PRT102.SR que emplea funciones gaussianas.

En general al cuantificar en pocos niveles una imagen aparecen una serie de espúreos y falsos contornos manifiestos. En este sentido Nischikara et al. [76] ha realizado un estudio heurístico sobre como eliminarlos. Su método está basado en adicionar en las zonas correspondientes a bordes y contornos una señal aleatoria de un ruido de la misma amplitud que el nivel de cuantización mínimo, consiguiéndose así una mejor calidad visual a la hora de presentación de la imagen, aunque con ello se incrementa el error de cuantización según pasamos a analizar.

Sea una imagen $f(x,y)$ que toma valores continuos en un cierto intervalo, definida discretamente por sus muestras f_{ij} , definimos un proceso de cuantización como una correspondencia de la forma:

$$f \text{ ----- } r_i$$

Siempre que $d_i < f < d_{i+1}$, siendo los d_i un conjunto de valores que caracterizan los niveles de decisión. El error de cuantización se define como:

$$\epsilon = \sum_{j=0}^J \int_{d_j}^{d_{j+1}} (f-r_j)^2 P(f) df \quad (2.21)$$

Donde J representa el número de niveles de cuantización y $P(f)$ es la función de distribución de probabilidad de f . la adición de ruido incorrelado a una imagen produce una nueva función de distribución $P_g(f)$, de manera que si definimos

$$g(x,y) = f(x,y) + n(x,y) \quad (2.22)$$

Representado $n(x,y)$ la imagen aleatoria añadida, la nueva función de distribución será:

$$P_g(f) = \int_{-\infty}^{\infty} P_n(f') P(f-f') df' \quad (2.23)$$

Expresión en la que $P_n(f)$ es la función de distribución de ruido. Para la función definida en (2.22) puede encontrarse el error como resultado de aplicar las ecuaciones (2.21) y (2.23). Desde un punto de vista analítico esta adición de ruido tiene como consecuencia un aumento del error de cuantización, lo que se encuentra en franca contradicción con los resultados obtenidos por Roberts y que Rosenfeld recoge en [87], en el sentido de que se produce un aumento de la calidad visual de una imagen cuantizada en pocos niveles si previamente se le ha añadido cierta cantidad de ruido relacionada

con el nivel de cuantización.

Por el momento no existe una explicación clara de por qué la adición de una determinada cantidad de ruido pueda producir un incremento de la calidad, dado que, como es conocido, otras cantidades de ruido elevado son francamente perjudiciales para conseguir una calidad visual aceptable. Hay que resaltar que la mejora citada sólo es observable cuando se realiza la cuantificación con un número reducido de niveles en cuyo caso se producen falsos contornos y gradientes elevados de nivel. El ruido adicionado, que según las hipótesis de Roberts debe ser del mismo orden de magnitud del nivel de cuantización, sólo produce efecto en la imagen cuantizada en el entorno del nivel de decisión, es decir en el entorno espacial del falso contorno produciendo una zona de transición que difumina este. En este principio es el que se fundamentan en [76] para la mejora de la calidad visual.

Podemos sugerir que la disminución de la calidad en las imágenes cuantizadas se debe a la presencia de componentes de altas frecuencias espaciales provenientes de fuentes muy localizadas espacialmente, motivadas por los falsos contornos. Suponemos que el proceso visual entre otras muchas

cosas, realiza en una de sus primeras etapas de captación un efecto asimilable a un filtrado espacial que acentúa las componentes de baja frecuencia presentes en la imagen, eliminando las correspondientes altas frecuencias. Pueden considerarse distintos modelos de filtros paso-bajo espaciales, dentro de los cuales resultan particularmente interesantes los de tipo radial. Entre ellos los que proveen un efecto parecido al descrito son los que poseen una función de transferencia en el dominio frecuencial de la forma:

$$H(w_x, w_y) = \begin{cases} 1 & \text{si } w_x^2 + w_y^2 \leq w_0^2 \\ 0 & \forall w_x, w_y; w_x^2 + w_y^2 > w_0^2 \end{cases} \quad (2.24)$$

Cuya respuesta impulsiva, como más adelante se analizará, vendrá dada por:

$$h(i, j) = \frac{w_0 J_1(w_0 (i^2 + j^2)^{\frac{1}{2}})}{2 \pi (i^2 + j^2)^{\frac{1}{2}}}$$

Siendo J_1 la función de Bessel de orden uno.

Es un hecho conocido que al observar una imagen que contenga cambios bruscos de nivel se produce en las zonas próximas al cambio un efecto perceptivo contrario al del cambio (de nivel) (FIG. II.28), fenómeno conocido como bandas Mach por inhibición lateral. Para justificar este hecho es necesario considerar un efecto de interacción espacial inhibitoria que motiva el oscurecimiento y aclaramiento en las zona próximas a los bordes. Por ello es necesario la existencia de un tipo de transformación cuya respuesta impulsiva posea una zona periférica negativa en la convolución. El tipo de filtro propuesto permite conseguir estos efectos.

Teniendo en cuenta los datos de frecuencia espacial reflejados en [7.1], [52], [53], se realizó el proceso experimental que puede ser descrito como sigue:

Dada una imagen original que corresponde a una variación uniforme de iluminación en una de las dimensiones (FIG. II.33a), se le sometió al proceso que esquemáticamente se expone en la figura II.29., siguiendo dos trayectorias bien definidas, una de las cuales incluye la adición de un nivel de ruido de amplitud variable, a partir de una imagen aleatoria (FIG. II.30), en distintas proporciones del nivel de

cuantización N que se emplee en cada caso. La etapa final es la de computación del error cuadrático espacial, evaluado como :

$$E_K = \sum_{j=1}^{116} \sum_{i=1}^{128} (g_k(i,j) - g_{kn}(i,j))^2 \quad (2.25)$$

Para distintos niveles de ruido añadido y diferentes grados de cuantización se obtuvieron los valores que se representan en la figura II.34. , que corresponden a algunas de las imágenes de las figuras II.33b, II.33c, II.33d. En algunos de los casos estudiados observamos que como consecuencia de la adición de ruido no se verifica un aumento de error en algún nivel de percepción, sino más bien una disminución de tal error. Esto puede concordar con las experiencias mencionadas de Roberts, siempre que se suponga que tal error concebido según (2.25) presenta una correspondencia con la calidad visual de percepción. El efecto es tanto más pronunciado cuanto menor es el número de niveles de cuantización. Para números elevados de niveles ,el efecto ya no es observable. Puede constatarse, asimismo, que existe un nivel de ruido próximo al nivel de cuantización para el cual el error es mínimo. Además se observa que para un nivel de cuantización, el error se incrementa al aumentar el nivel de ruido por encima

del nivel de cuantización, como parecería lógico ,
pues es el conocido efecto de contaminación de
imágenes.

En las figuras II.31. y II.32. se muestra el
resultado de la adición de ruido incorrelado con
nivel igual al de cuantización a las imágenes de las
figuras II.26. y II.27. cuantizadas en niveles,
donde puede apreciarse una disminución sensible de
los falsos contornos

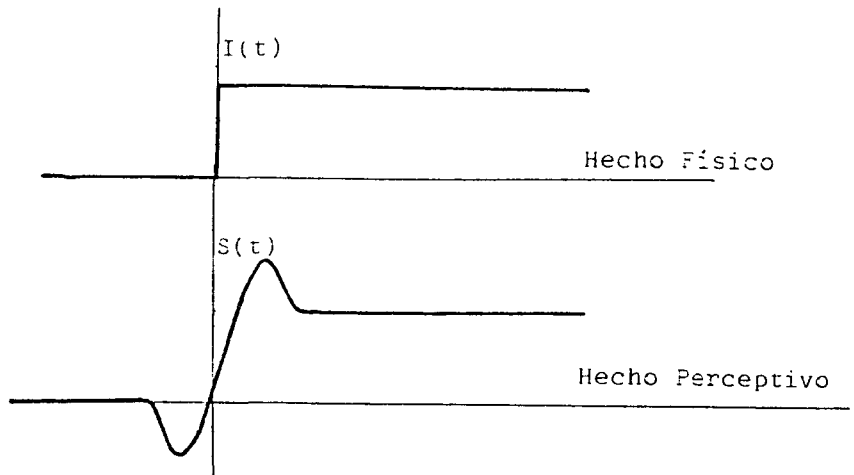


FIG. II.28. Hechos físico y perceptivo en un contraste luminoso.

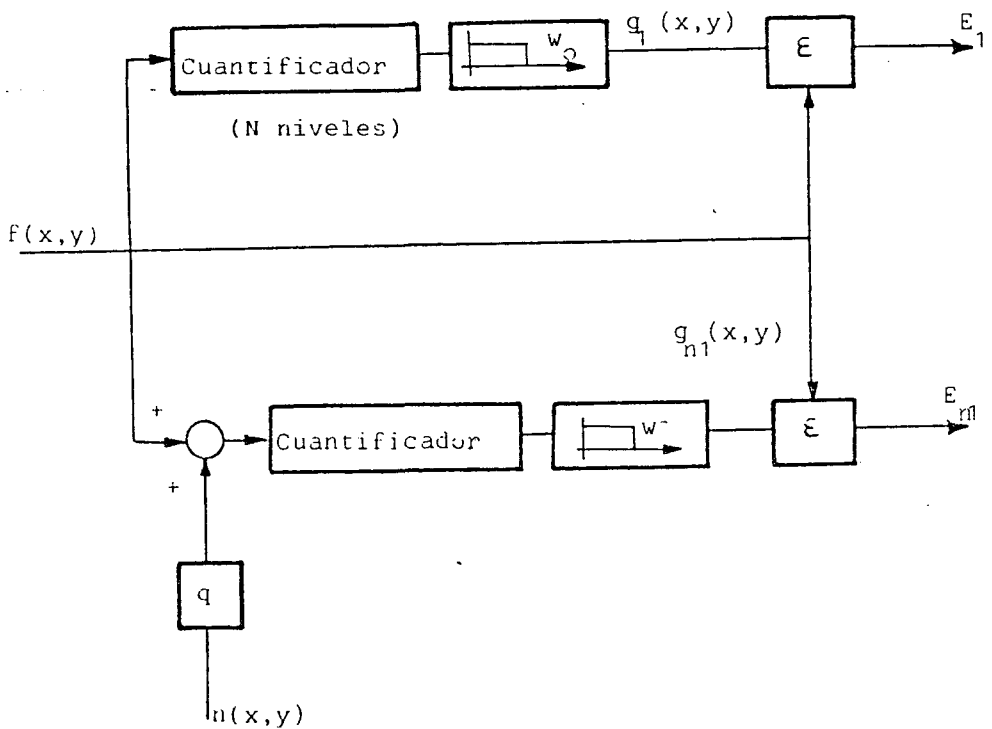


FIG. II.29 Esquema experimental del proceso de adición de señal aleatoria contaminadora.

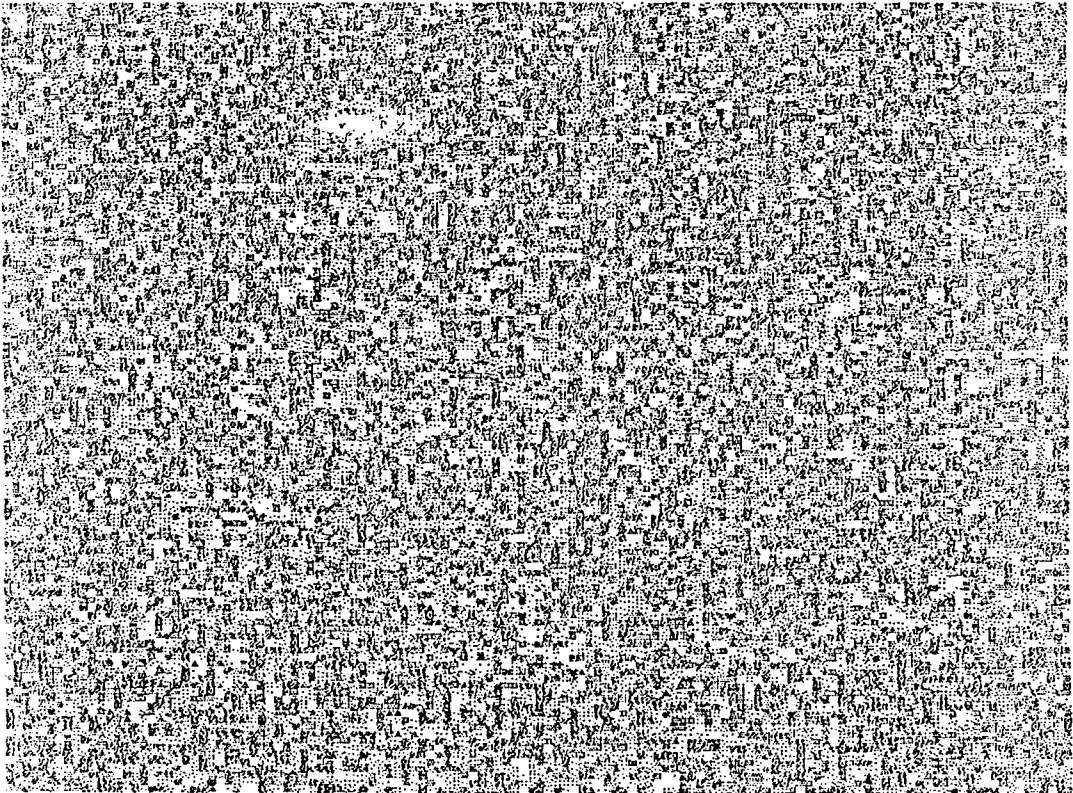


FIG. II.30. Imagen aleatoria empleada.

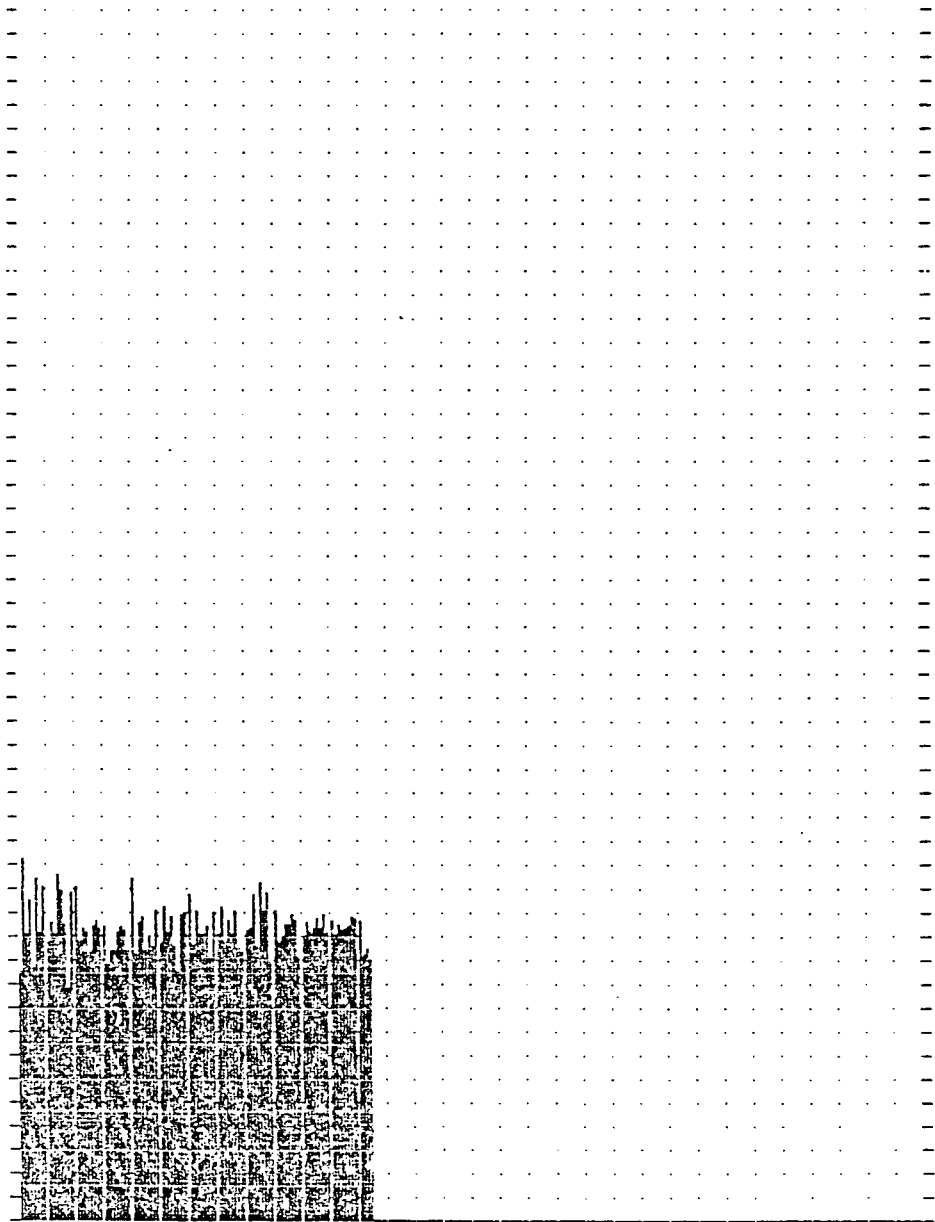


FIG. II.30b. Histograma de la figura II.30a.

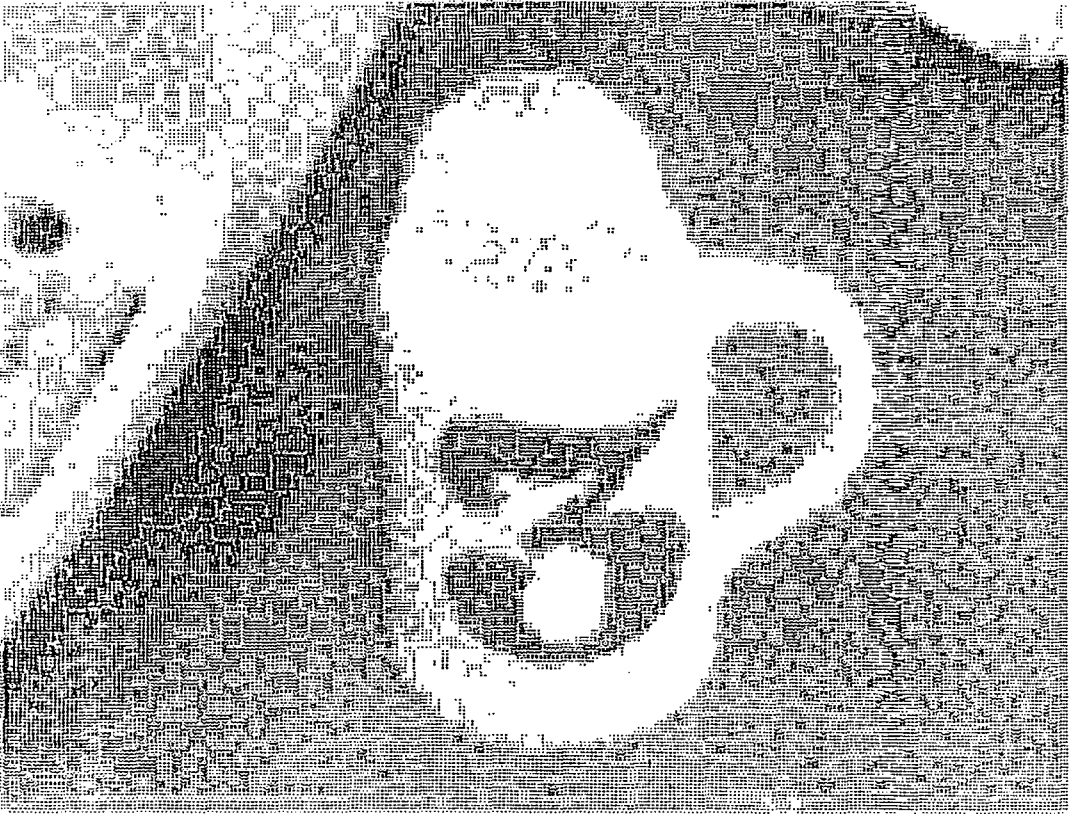


FIG. II.31. Resultado de la contaminación con ruido de la imagen de la figura II.25.



FIG. II.32. Idem para la imagen de la figura II.26 .

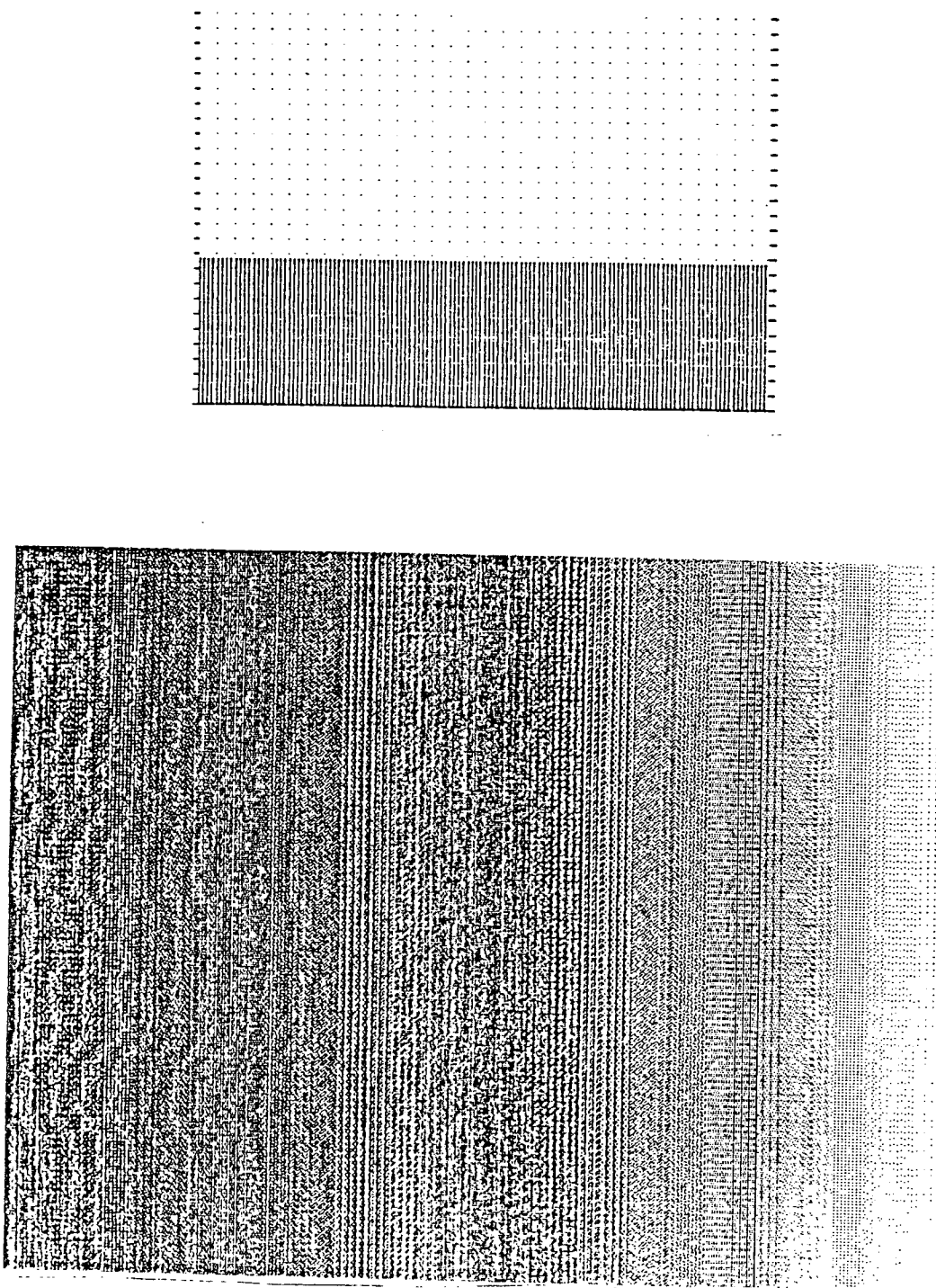


FIG. II.33a. Imagen patron empleada en el test.

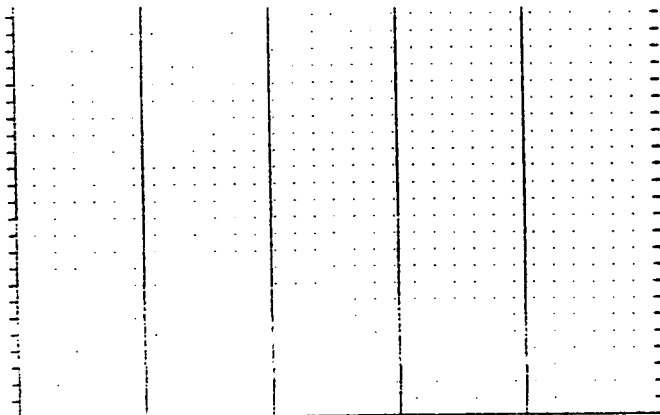
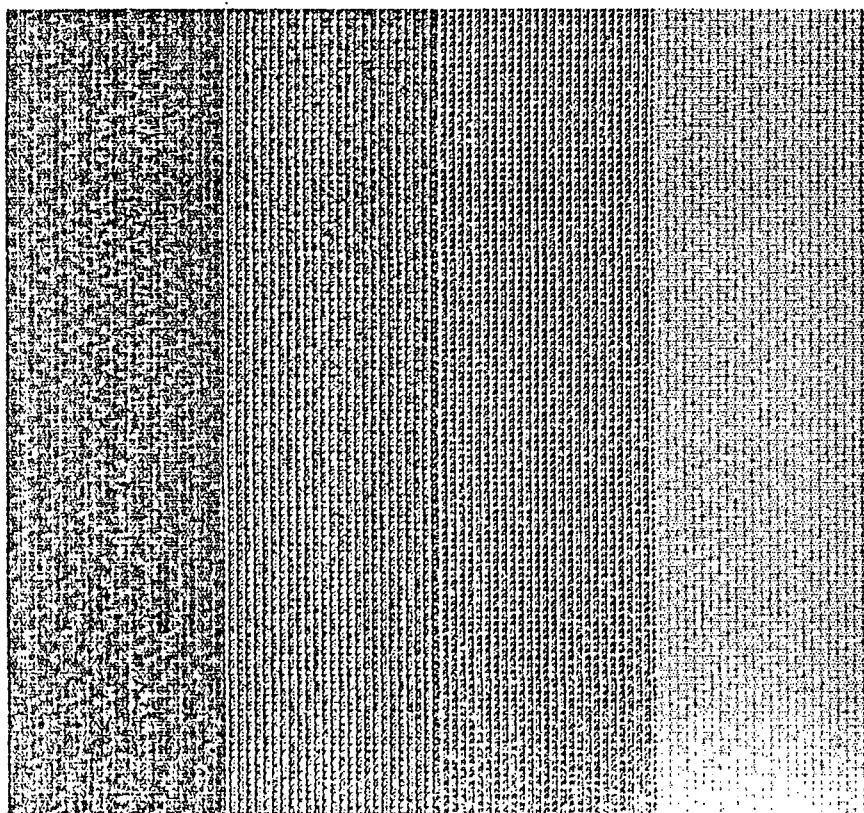


FIG. II.33b. Imagen patron cuantificada en niveles

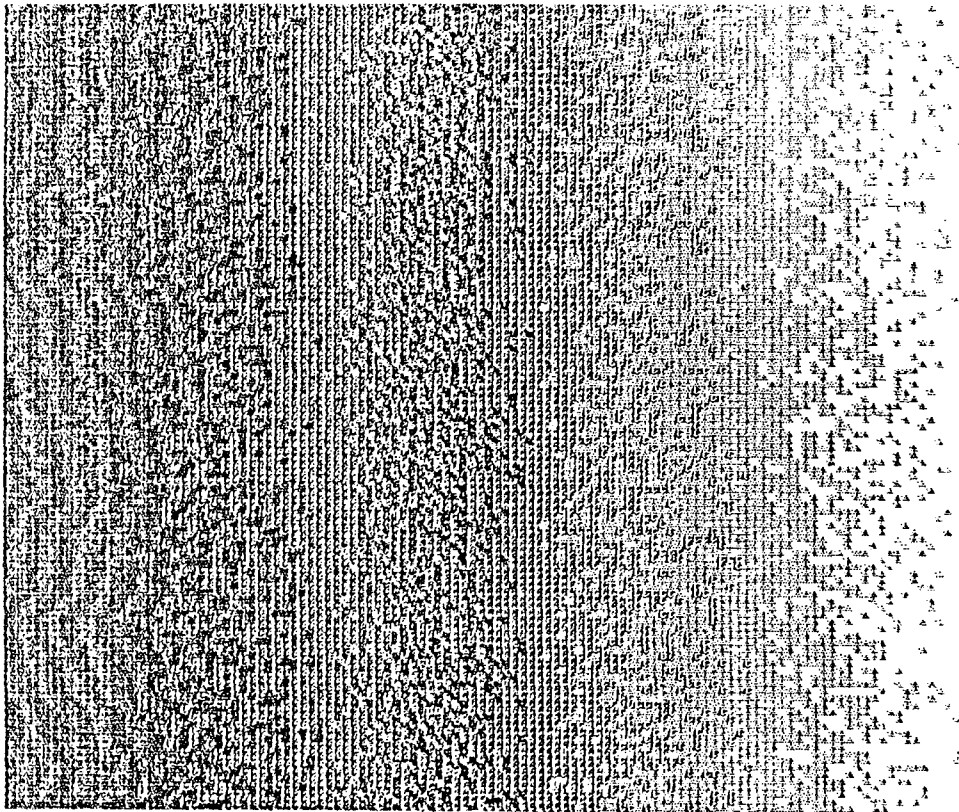
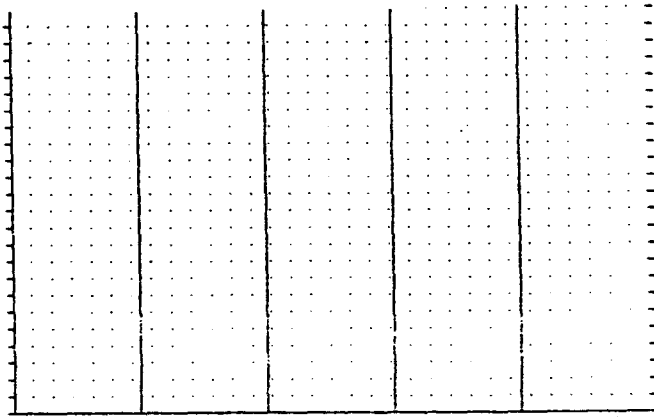


FIG. II.33c. Imagen anterior contaminada con ruido

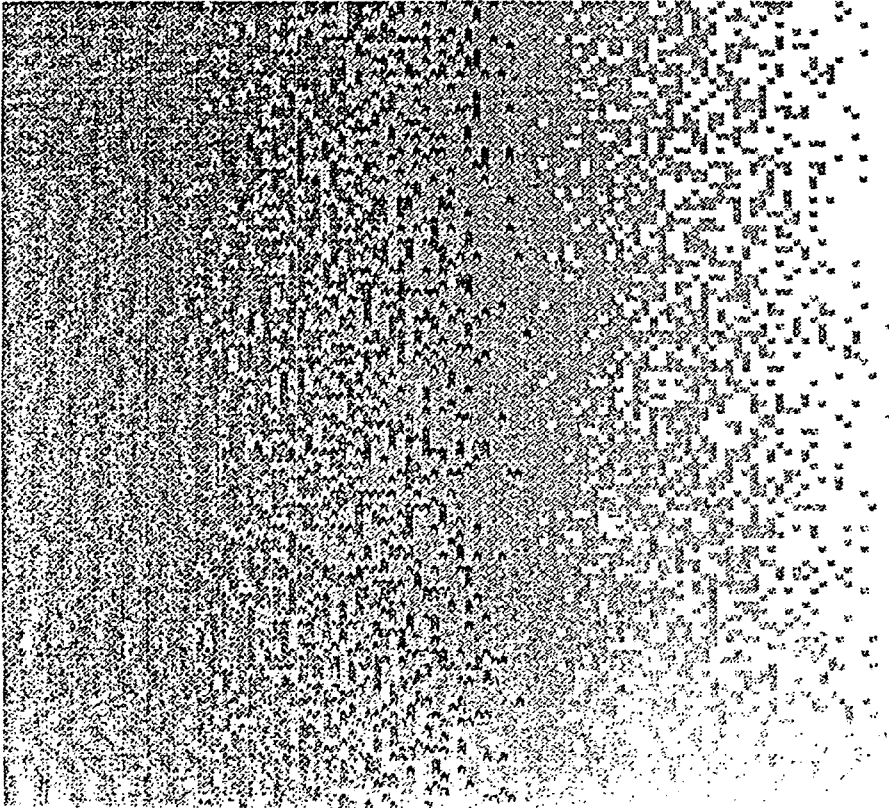
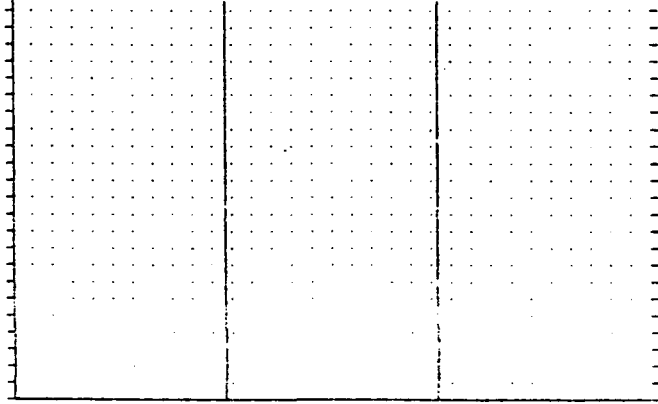


FIG. II.33d. Imagen cuantizada en 3 niveles y contaminada con ruido

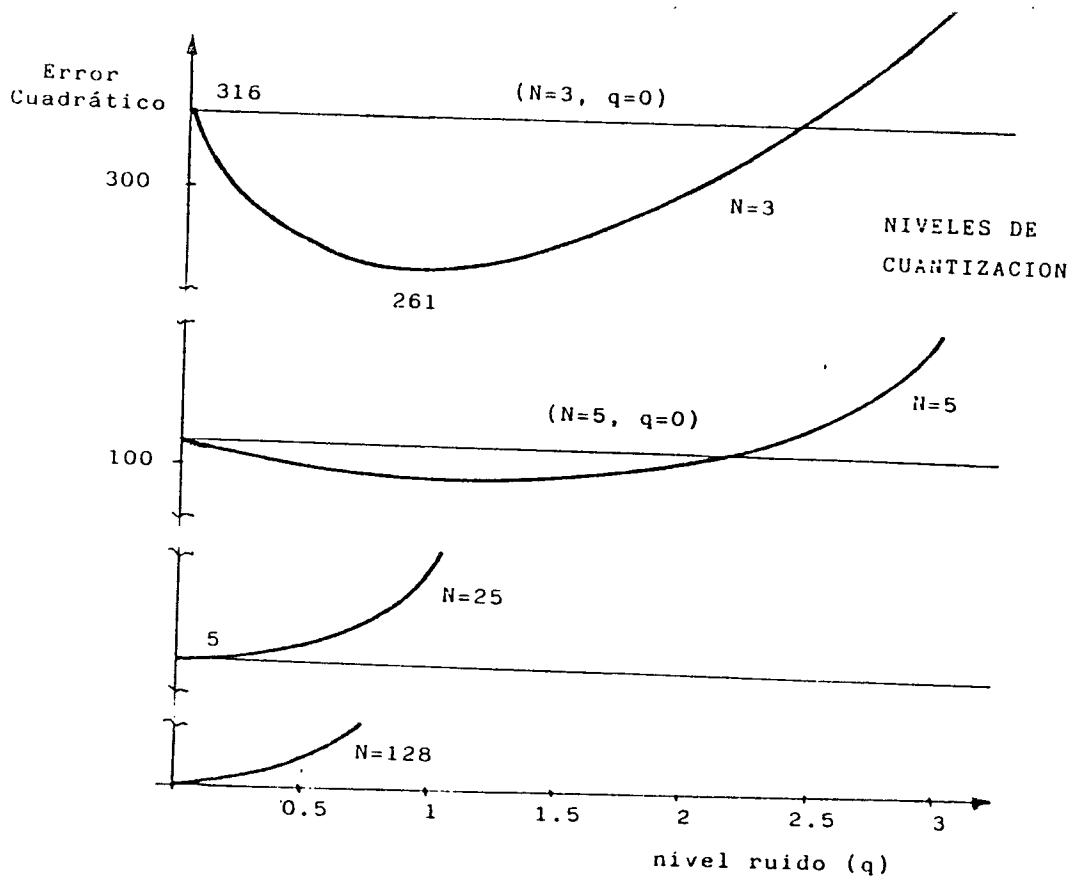


FIG. II.34. Errores obtenidos respecto de la imagen original

2.6.3.1 PROGRAMA PRTFOTO.SR

=====

Este programa es el que se encarga de la impresión de la imagen desde el fichero FOTO utilizando la impresora del sistema en pixels de 6x6 puntos realizando una asignación de tipo proporcional entre los niveles 0-255 que da el digitalizador y 0-37 condicionado por el formato de pixel. Su organigrama puede verse en la figura II.35. Inicialmente el programa abre el fichero, lee media imagen sobre la dirección IMAGE y llama a la subrutina PICGN que se encarga de generar un fichero denominado PICTURE donde se van a almacenar previamente a su impresión los códigos de impresora correspondientes a los pixels de la imagen que se quiere representar. Siguiendo el diagrama de flujo de la figura II.36, una vez almacenado el retorno y haciendo AC2=1, que indica a IPIXEL subrutina que se llama a continuación que no se inicialize PICTURE. IPIXEL prepara los datos que van a ser utilizados por la subrutina PIXEL. Estos datos consisten en los códigos de impresión de los distintos tonos de gris que son leídos del fichero TABLA donde previamente han sido grabados usandose técnicas empíricas de densidad de puntos. En caso de error tanto en estas subrutinas como las siguientes existe una subrutina

(ERMES) que se encarga de enviar un mensaje a la consola indicando el tipo de error del cual se trata. El organigrama de IPIXEL puede observarse en la figura II.37. Después de leer TABLA abre PICTURE y carga en AC3 el código de impresión correspondiente al blanco. Si AC2 es distinto de cero, lee la zona "0" de PICTURE, pone el registro ZONA a cero y retorna. Si AC2 viene a cero primeramente grabará NBZN/2 (número de palabras por zona) códigos de blanco a partir de la dirección de comienzo de la zona en memoria (BLOCK/2). Para utilizar esta zona, llena de códigos blancos (para inicializar las ocho zonas de PICTURE), coloca AC1 a NBZN y AC2 al número de zonas. Por último pone ZONA a cero y retorna al programa PICGN.SR.

A continuación (FIG. II.37) se inicializan los contadores de x e y y las coordenadas de los puntos de la imagen y se entra en los bucles de generación de los tonos de gris para todos los pixels. Para cada pixel se llama a la subrutina PICFN (FIG II.38) que obtiene el tono de gris Z de un punto dado por las coordenadas x,y que le vienen del programa principal. El tono de gris se evalúa estableciendo una correspondencia de manera proporcional entre el nivel de señal comprendido entre 0-255 y el de salida 0-36. El valor obtenido se almacena en el registro Z,

tercer término de la tabla XYZ cuyo puntero ha de venir^{en} AC2. Se supone que el fichero FOTO esta abierto y leida su primera mitad tomándose primero los puntos de esta primera parte. El registro FLAG, que esta inicialmente a cero, indica que porción de FOTO reside en memoria. Cuando la coordenada Y ha llegado a la mitad se pone FLAG a -58, de manera que se obtienen corregidas las coordenadas verticales sucesivas respecto a la porción de FOTO que reside en ese momento en memoria. En el caso de que Y halla llegado a 58 se abre un canal para FOTO, se posiciona en el punto medio del mismo y lee su mitad restante sobre IMAGE, cerrándolo a continuación. Seguidamente se calcula la dirección en memoria del pixel en cuestión, sabiendo que en la matriz FOTO los pixel de cada línea se almacenan consecutivamente, mientras los de cada columna vertical lo hacen con una separación de 128 palabras. Para evaluar la dirección se emplea $IMAGE+X+128*Y$. Una vez evaluado el tono de gris en AC1 se retorna.

Cuando ya se ha obtenido el nivel de gris para el punto objeto se llama a la subrutina PIXEL (FIG. II.39), que coloca sobre PICTURE los códigos de impresora que corresponden al tono suministrado. Mantiene en memoria 1/8 de este fichero y lo actualiza conforme le van suministrando los sucesivos

tonos. Una vez cedido control a esta subrutina se almacena la dirección de retorno y el puntero de la tabla XYZ que le llegan desde AC2, calculando a partir de la coordenada Y la zona (ZPOS de 0-7) a la que corresponde dentro de PICTURE, así como la línea dentro de esta zona. Compara seguidamente ZPOS con la zona actualmente en memoria indicada por ZONA. Si fuesen distintas almacena la zona actual en su posición adecuada dentro de PICTURE, para lo cual necesita evaluar la dirección en disco correspondiente y posicionarse en ella, realizando luego la lectura de la nueva zona, actualizando ZONA a su nuevo valor. A continuación calcula la dirección del primero de los seis códigos de impresora que representan un tono de gris por su densidad de puntos, almacenados a partir del fichero TABLA en orden creciente desde el "0" al "36". Para ello emplea la expresión $TABLA+6*Z$, siendo Z el nivel de señal. Como resultado de las operaciones anteriores, en el bit de carry se almacena la posición izquierda o derecha (0 o 1 respectivamente) de los bytes dentro de una palabra que contendrá los códigos de impresora. Se calcula entonces la dirección en memoria de la primera de estas palabras sobre AC2, conociendo la dirección inicial $BLOCK/2$ y sabiendo que las líneas horizontales se almacenan consecutivamente (teniendo cada una $NMLN$ palabras por línea) y que cada pixel

tendrá 6 líneas de alto. Es decir obtendremos $NWLN*6*(YPTR)$, al que habrá que sumar la posición dentro de la línea dada por $X/2$ coordenada horizontal. Como existen 2 bytes por palabra hay que utilizar una máscara que evite modificar el posible byte almacenado anteriormente en la palabra a utilizar para lo cual en función del carry se cargará una máscara en la porción derecha o izquierda. Posteriormente se entra en el bucle de grabar los seis códigos de impresora señalados por $TBPTR$, utilizando como puntero AC ". Una vez se ha completado $PICTURE$ se llama a la subrutina $FPIXE$ (FIG. II.40) que se encarga de grabar la última zona de $PICTURE$ que aún no ha sido actualizada y de cerrarlo una vez finalizada ésta operación. A continuación se llama a la subrutina $IMPIC.SR$, (FIG. II.41) que envía el fichero $PICTURE$ a la impresora del sistema leyendo $NZON$ partes del mismo, que contienen 90 líneas de 132 códigos de impresora, que trasmite añadiéndoles los códigos de funcionamiento en modo plotter y de avance de línea. Asigna un canal ($CHLPT$) a la impresora y otro ($CHPIC$) a $PICTURE$ e inicializa el contador de ZONAS ($ZONCTR$). Para cada zona leída se inicializa el contador de líneas ($LINCTR$) y el puntero de principio de líneas ($.PTR$). Por líneas se envía primero el código de funcionamiento en modo plotter (5 en ASCII) y a continuación se le envía los

132 códigos de la línea horizontal completa, incrementándose .PTR y enviándose seguidamente el código de avance de página. Una vez impresa la totalidad de las zonas (ZONCTR=0) se cierra PICTURE y se retorna primero a PICGN.SR y luego a PRTFOTO.SR que a su vez devuelve el control al sistema operativo

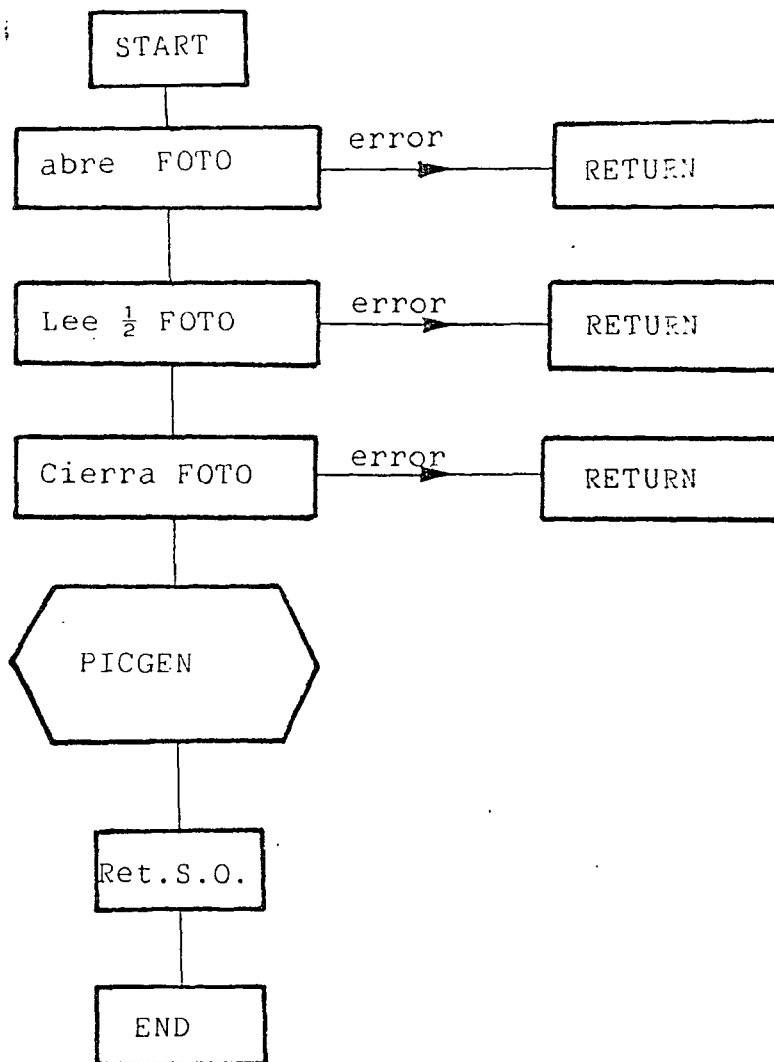


FIG. II.35. Organigrama de PRTFOTO.SR

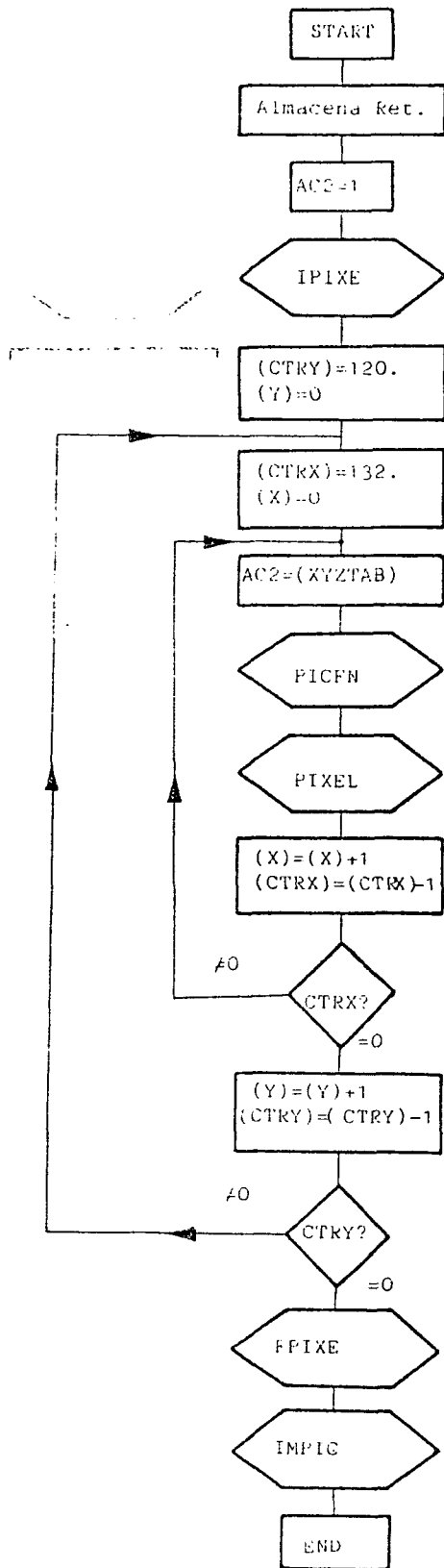


FIG. II.36. Organigrama de PICGEN,SR

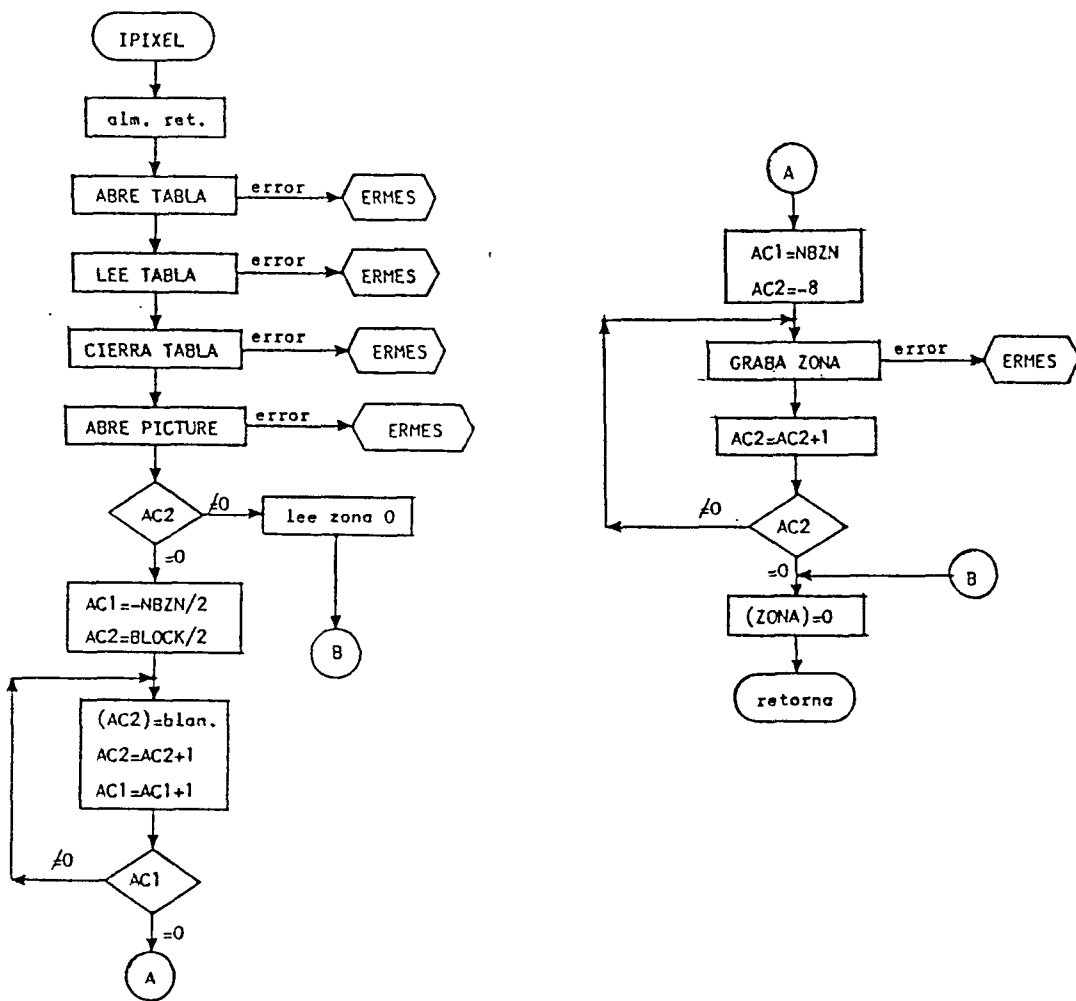


FIG. II.37. Organigrama de IPIXEL.SR

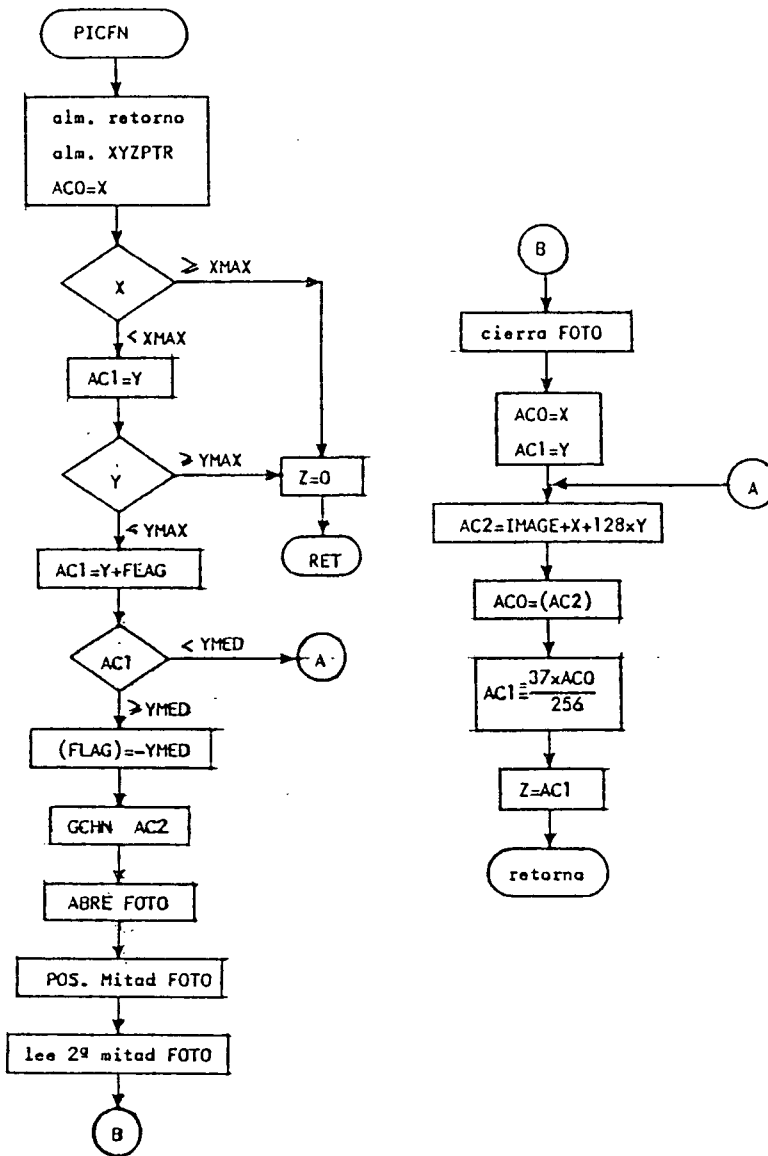


FIG. II.39. Organigrama de PICFN.SR

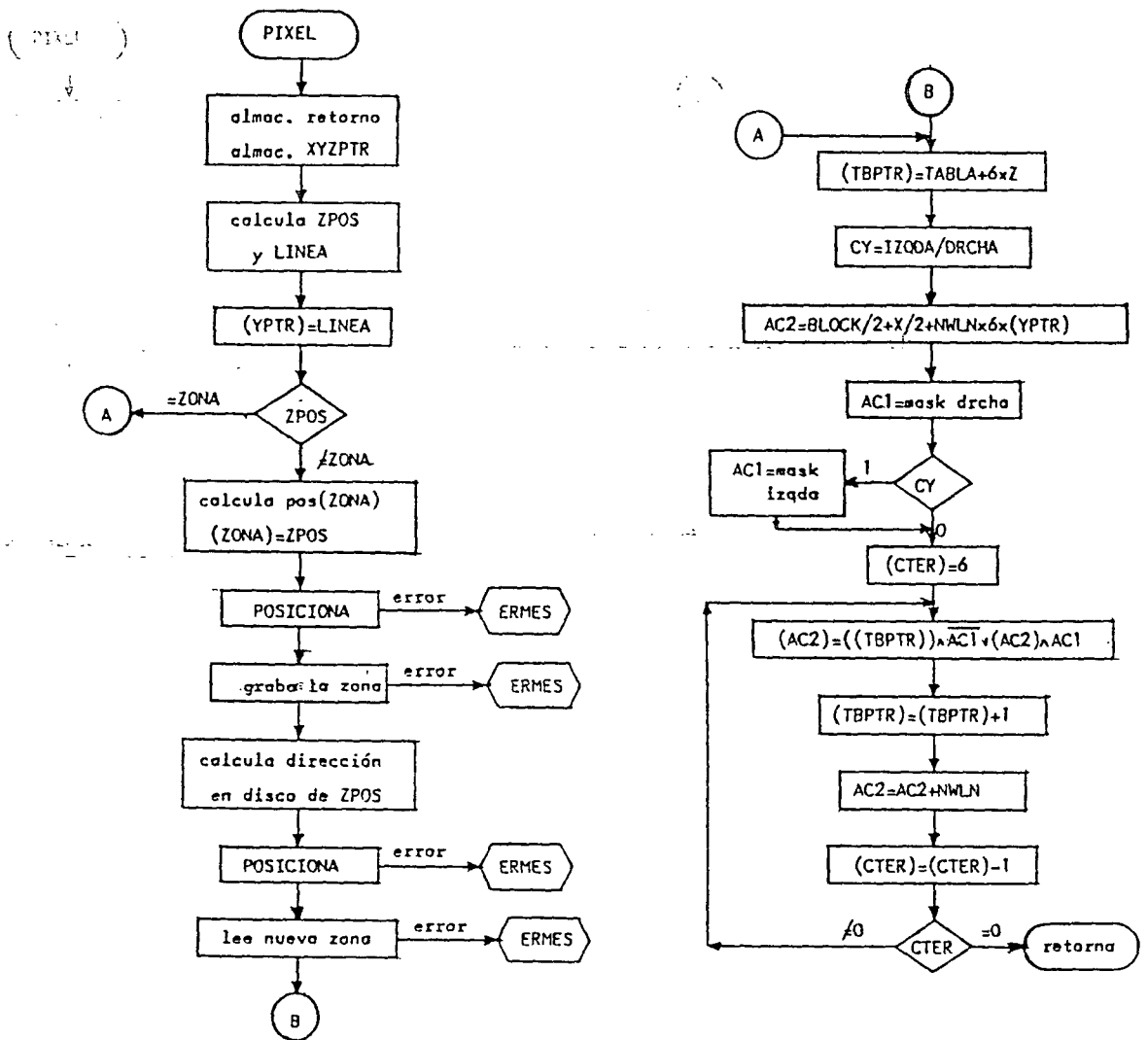


FIG. II.39. Organigrama de PIXEL.SR

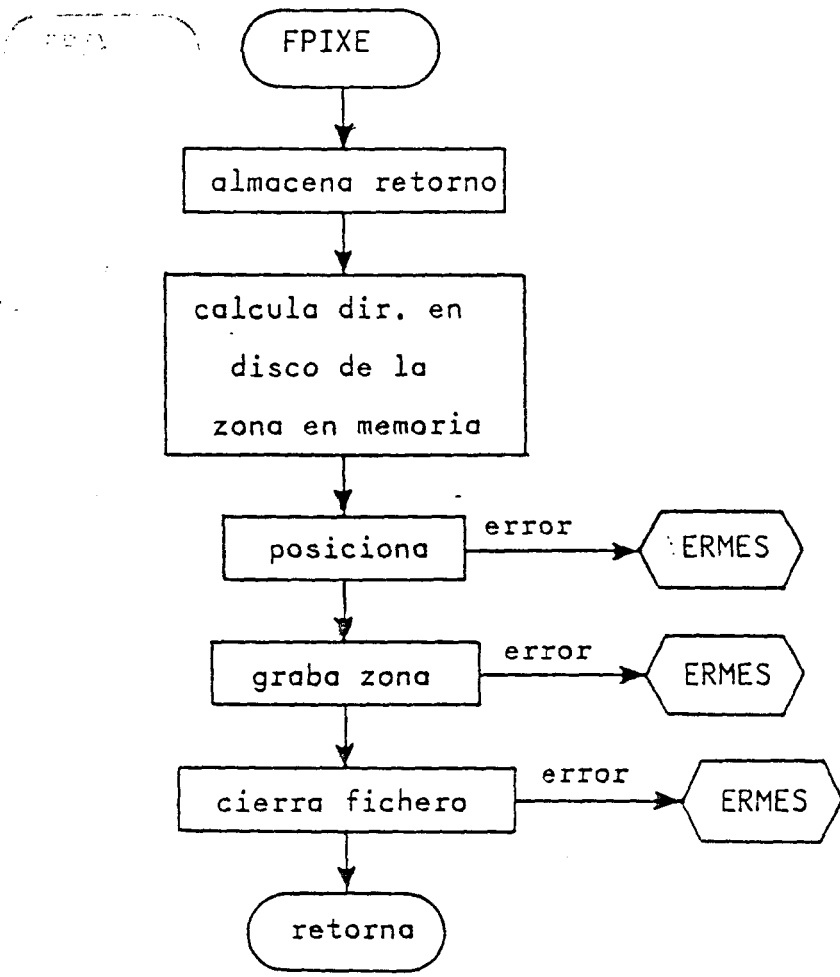


FIG. II.40. Organigrama de FPIXE.SR

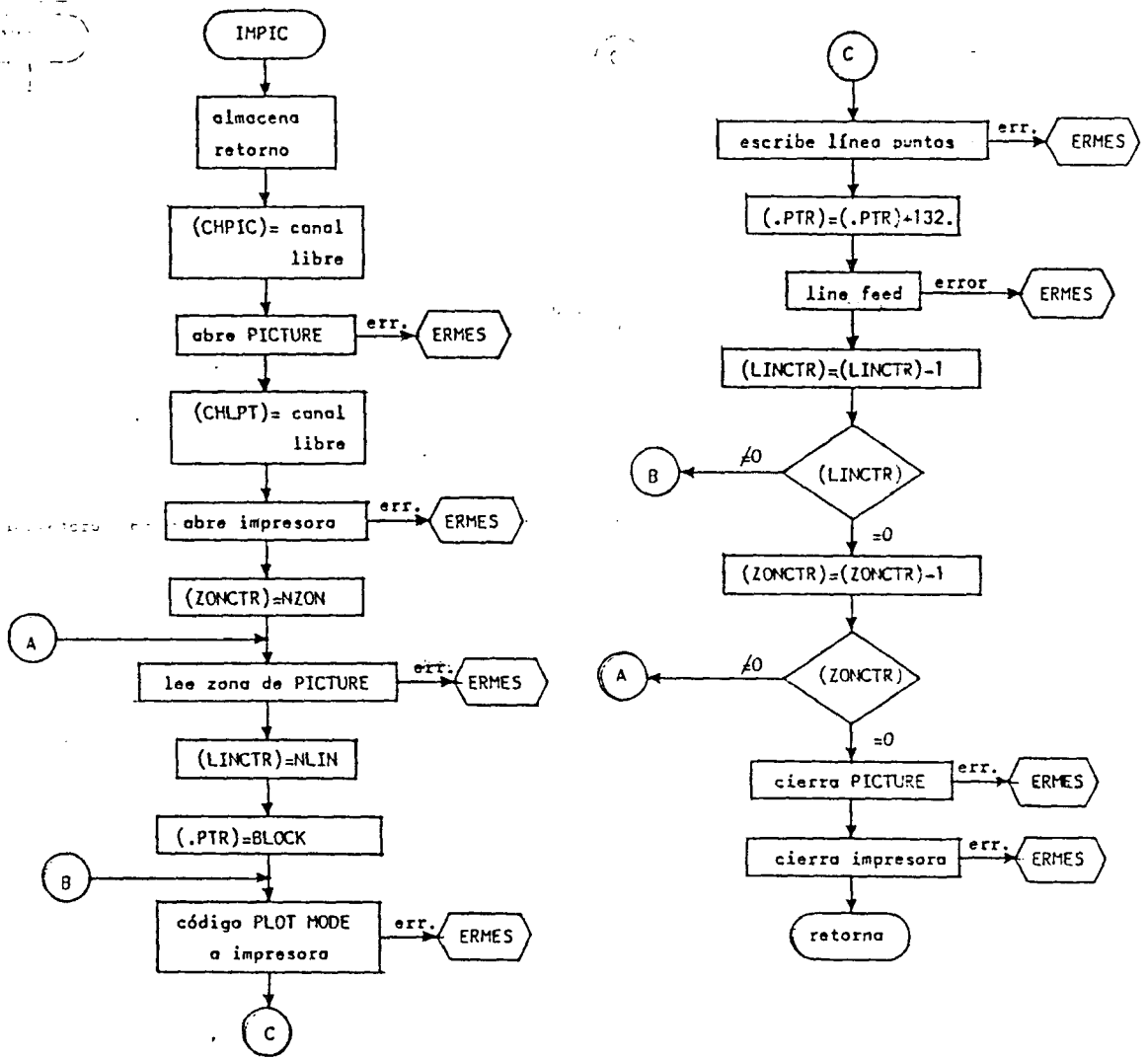


FIG. II.41. Organigrama de IMPIC.SR

2.6.3.2 PROGRAMAS PRT101.SR Y PRT102.SR

=====

Estos programas realizan el proceso de la subdivisión de cada uno de los 128x116 pixels de la imagen en 4 subpixels asociados a cada uno de ellos. El tamaño de estos es de 3x3 y los valores de nivel (10 en total) se obtienen por ajuste interpolativo según los métodos descritos. El programa PRT101.SR realiza la interpolación empleando funciones tipo sinc mientras PRT102.SR utiliza funciones gaussianas.

El organigrama y estructura general son análogos para ambos programas difiriendo en el tipo de factores de peso empleado que vienen determinados por la subrutina CONV.SR a partir de la dirección IPTR. El organigrama del programa principal puede observarse en la figura II.42. Se inicia con la subrutina TRAS.SR, que realiza la conversión de forma proporcional de la imagen original residente en FOTO con 256 niveles a otra residente en XIMA en 10 niveles, cerrando posteriormente los ficheros implicados. A continuación se abre PICTURE y de nuevo XIMA y se lee desde este la mitad de la imagen a partir de la dirección INFOT. Se inicializan seguidamente los punteros de PICTURE (ZONA) y el del offset de la zona en memoria (GETFL), que nos

indicará la porción de la imagen que estemos tratando. Posteriormente se hace un barrido de toda la imagen y para cada punto de la misma se llama a la subrutina CONV.SR (FIG. II.43) que toma los valores de pixels conexos y el propio del punto, evaluando los valores de los subpixels por proceso interpolativo. En WORD se van almacenando los valores parciales de la convolución y a partir de la dirección IWORD se encuentra el bloque donde están los cuatro valores asociados al pixel una vez calculados. Para obtener los valores de señal en los distintos pixels necesarios para la convolución CONV.SR usa la subrutina DAXY.SR (FIG. II.45), la cual emplea como parámetros de entrada las coordenadas del punto en GETXM y GETYM, además del offset de la zona actual en memoria GETFL. Calcula el valor de señal, si el punto corresponde a la zona presente en memoria, o lee desde disco si el punto no está en la misma. En ambos casos el acumulador AC1 devuelve a CONV.SR el valor de nivel solicitado y en GETFL el nuevo offset. Una vez obtenido los distintos valores de los subpixels se procede a su distribución mediante la subrutina GPIC.SR (FIG. II.45) en PICTURE (fichero de la imagen de impresora). Lo primero que hace GPIC tras almacenar la dirección de retorno es comprobar, a partir de la coordenada Yt del punto, si la zona de PICTURE es correcta o no, mediante una

división seguida de una comparación con ZONA. En caso negativo se repondrá el valor de ZONA y se grabará el trozo de PICTURE construido. Simultáneamente se obtiene YPTR, puntero dentro de la zona de PICTURE, en el resto de la división anterior. Como las palabras son de 16 bits y cada pixel es de 6x6, según que la coordenada x del punto sea par o impar se cambiará la máscara para obtener una u otra parte del byte. Siguiendo con el diagrama de flujo de la figura II.44 se procede a evaluar, a partir del bloque que se proporciona en IWORD los subpixels de 3x3 puntos. Para ello emplea la tabla de los diez tonos ubicada a partir de la dirección ITAB y los contadores: a)CPIX, que indica si se refiere a los dos primeros subpixels superiores o a los dos siguientes inferiores, y b)SPIX, que dentro de cada grupo de dos subpixels permite direccionar uno u otro. Una vez evaluados y después de añadir el código de impresión con el puntero PTR BLOCK, se situarán dentro del bloque de datos que se grabará seguidamente en PICTURE.

Cuando se ha finalizado el barrido de todos los puntos de XIMA se escribe en PICTURE la última zona de 15 líneas y se cierran los ficheros utilizados. A continuación, se llama a la subrutina IMPIC.SR, cuya estructura es análoga a la explicada para PRTFOTO y que gestiona la impresión a partir del fichero

PICTURE. Seguidamente se retorna al programa principal y este cede control al sistema operativo.

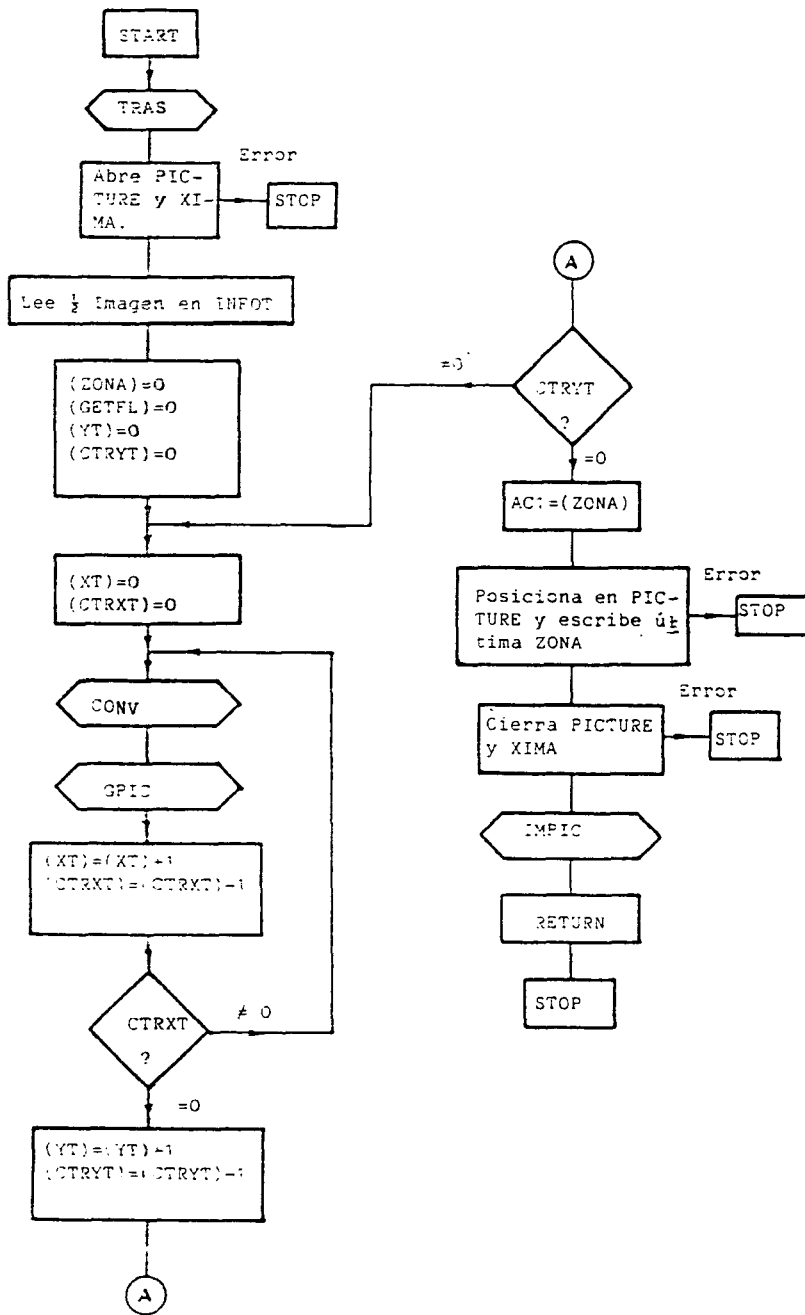


FIG. II.42. Organigrama del programa principal
PRT101.SR

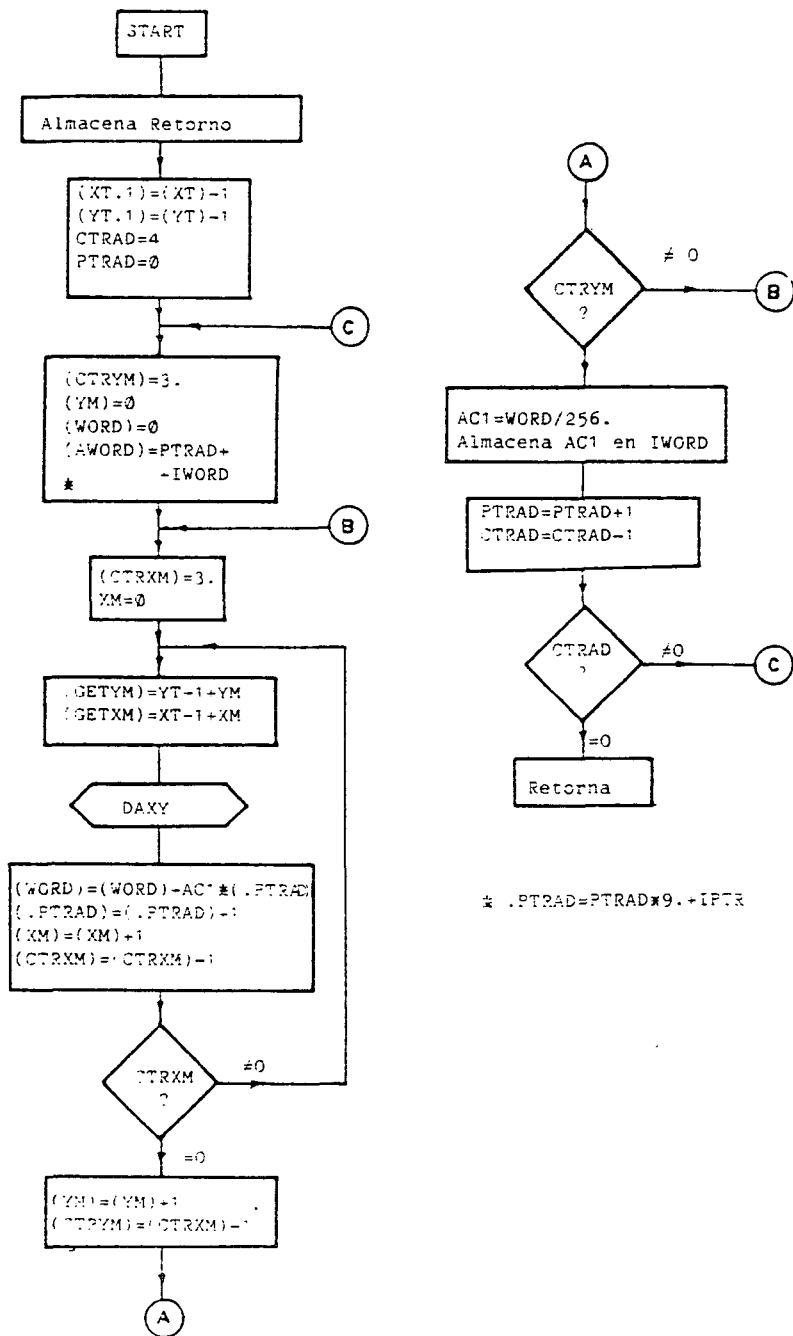


FIG. II.43. Organigrama de CONV.SR

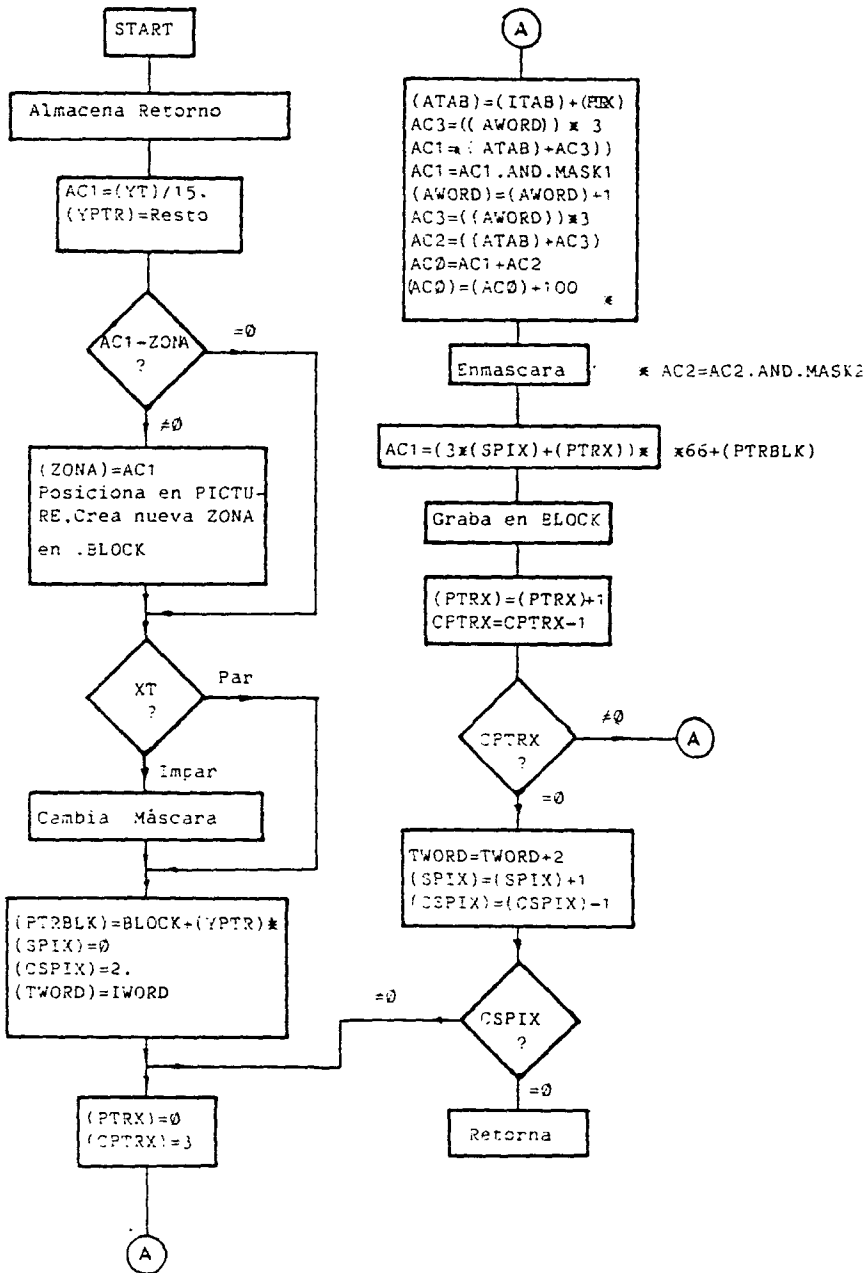


FIG. II.44. Organigrama de GPIC,SR

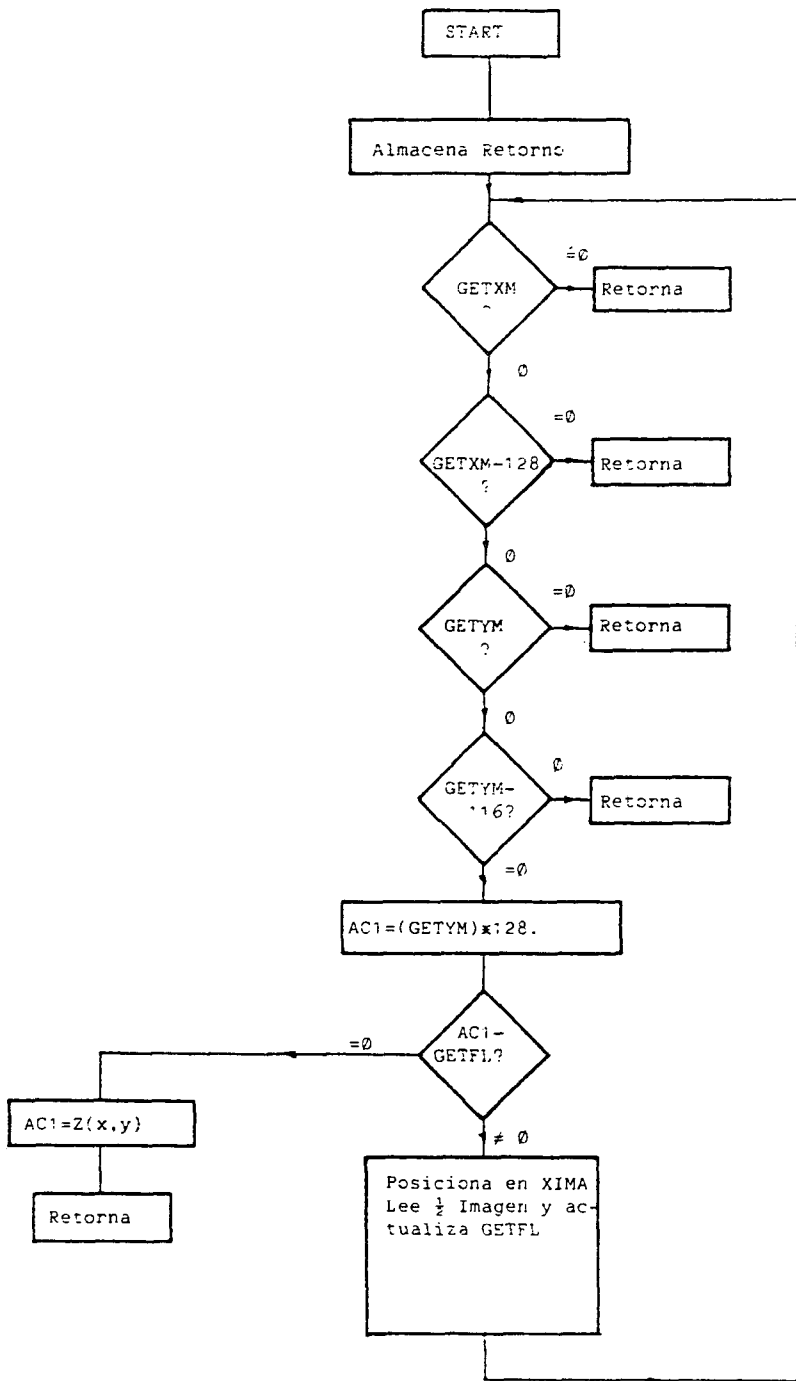


FIG. II.45. Organigrama de DAXY.SR

2.6.4 DIAGRAMAS DE FRECUENCIA DE OCURRENCIAS

=====

Los diagramas de frecuencia de ocurrencias, comunmente denominados histogramas, constituyen una información global que puede ser interesante emplear a la hora de desarrollar metodologías de representación de imágenes [35].

Las técnicas de realce por modificación de histogramas se fundamentan en considerar a la imagen $f(x,y)$ definida en términos de pixels con niveles cualesquiera Z_i ($i=1, \dots, n$) como un mensaje procedente de una fuente de información, donde $N(Z_i)$ denota el número de veces que un nivel determinado Z_i aparece. Podremos interpretar el proceso de visualización como la transmisión desde la imagen impresa (Fuente de información) y el cerebro (Receptor de información), de forma que el conjunto de niveles de señal (Z_1, \dots, Z_n) constituirá el alfabeto de la fuente.

La entropía de una fuente de información que emite mensajes, donde cada símbolo h aparece N_h veces con una frecuencia relativa P_h , se define como el valor medio de la información I_h de los eventos que la componen, esto es:

$$H = \sum_{k=1}^n I_k P_k = \sum_{k=1}^n P_k \lg_2(1/P_k) \quad (2.26)$$

Si involucramos a todo el conjunto de la imagen la entropía de la misma será máxima cuando todos los símbolos que la componen sean equiprobables, bajo estas circunstancias:

$$H = \lg_2 n \quad (2.27)$$

Consideremos ahora el histograma de niveles de señal de una imagen (FIG. II.46), si realizamos una transformación de los niveles Z_i a otros I_i de manera tal que los símbolos resultantes sean equiprobables, ocurrirá que el histograma de los mismos será plano, o lo que es semejante, el histograma acumulado después de la transformación será una recta que pase por el origen y de ecuación:

$$F_I(I_i) = (I_i/I_m) NM = F_Z(Z_i) \quad (2.28)$$

Donde $F(I_i)$ y $F(Z_i)$ son los histogramas acumulados de I_i y Z_i respectivamente, y NM el número total de puntos de la imagen. De (2.28) los nuevos niveles I_i se obtendrán (FIG. II.46) como:

$$I_i = I_m F_Z(Z_i) / NM \quad (2.29)$$

Es decir realizamos una transformación de manera que a cada punto de la imagen (x,y) le asociamos un nivel I_i definido por la anterior ecuación, con lo que conseguiremos que la frecuencia de aparición de todos los niveles sea idéntica. Esta transformación puede ser útil siempre que se tenga en cuenta que a todo el conjunto al que se aplique la misma contenga información relevante, proporcionada por la fuente. En cualquier otro caso aparecerían un número excesivo de niveles ficticios que contribuirían a enturbiar la imagen.

Un ejemplo de aplicación de lo expuesto puede observarse en la imagen de la figura II.50a, cuyo histograma se representa en la figura II.50b. Después de realizar el proceso de equalización del histograma de niveles de grises se obtuvo el resultado que se muestra en la figura II.50c, donde se aprecia un incremento del número de blancos de la imagen final respecto de la inicial, motivados por la nueva distribución de grises de la transformación.

Son posibles otras transformaciones, algunas de las cuales se encuentran referenciadas en la literatura [35],[85],[97], que toman como elemento al histograma y que contribuyen a crear una mejor sensación visual.

Analizaremos a continuación el caso de las transformaciones de tipo logarítmico e hiperbólico, por la relación que existe con ciertos procesos de percepción en el ser humano, y por la presencia en la retina de situaciones de umbrales y saturaciones que pueden ser explicadas con funciones de este tipo. Podemos pensar que, en muy primera aproximación, la información en niveles de señal que procedente del sistema visual llega al cerebro no es I_i , sino $Lg(1+I_i/I_0)$, y que nos pueda interesar que sea máxima la entropía implicada en este flujo informativo. Por ello, proponemos una transformación de los niveles primarios Z_i a otros I_i de forma tal que el histograma de $Lg(1+I_i/I_0)$ sea plano, o bien que el histograma acumulado correspondiente sea una recta. (FIG. II.47)

Sea $F_I(I_i)$ el histograma acumulado de I_i y $F_Z(Z_i)$ el correspondiente a Z_i . La condición de equivalencia establecida por la transformación es :

$$F_I(I_i) = N M \frac{\lg(1+I_i/I_0)}{\lg(1+I_m/I_0)} = F_Z(Z_i) \quad (2.30)$$

Y de ella podemos obtener los nuevos niveles I_i a asociar a cada nivel primitivo Z_i .

$$I_i = I_o \left((1 + I_m / I_o)^{F_z(Z_i) / NM} - 1 \right) \quad (3.31)$$

Según ésta transformación, resultará que van a aumentar el número de puntos con niveles próximos al I_m , si lo que queremos es acentuar el número de blancos de la imagen podemos hacer la transformación siguiente, opuesta a la anterior:

$$I_i = I_o \left((1 + I_m / I_o)^{(1 - F_z(Z_i) / NM)} - 1 \right) \quad (2.32)$$

Con ello se mejora la calidad visual de la imagen, porque en términos generales parece que el observador prefiere aquellas imágenes en que exista contraste y predomine el número de blancos sobre el correspondiente de negros.

Se adjunta un ejemplo desarrollado para la imagen de la figura II.51a, cuyo histograma se muestra en la figura II.51b. La aplicación de la técnica de preproceso dada por (2.32) puede analizarse para distintos valores de I_o , en las figuras II.51c y siguientes, se observan algunos de los resultados obtenidos. Es de resaltar, que la clase de las transformaciones definidas por (2.32) producen histogramas logarítmicos decrecientes conforme crecen los valores correspondientes de

señal.

Frei [23] ha sugerido una transformación de histograma de tipo hiperbólico de manera que, al pasar por el sistema fotoreceptor, resulte un histograma uniforme, es decir, que la igualación del histograma la realizan los conos y bastoncillos de la retina. Esto es, supone que el histograma acumulado responde a:

$$N(I) = 1 / (I_i (\ln I_m - \ln I_o))$$

(2.30)

Y la transformación correspondiente es:

$$I_i = I_o (I_m / I_o)^{F_z(Z_i)}$$

(2.31)

Posteriormente, tiene lugar una igualación del histograma en otras zonas de la retina. El proceso global se ilustra en la figura II.48. Es de resaltar que la transformación (2.32) posee características del tipo de la propuesta por Frei, aunque tiene una justificación neurofisiológica más pausable.

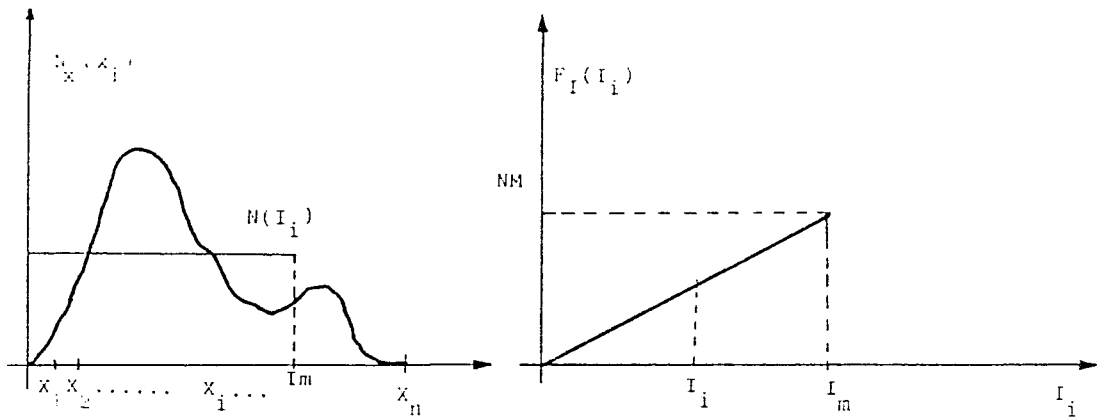


FIG. II.46. Transformación de histogramas

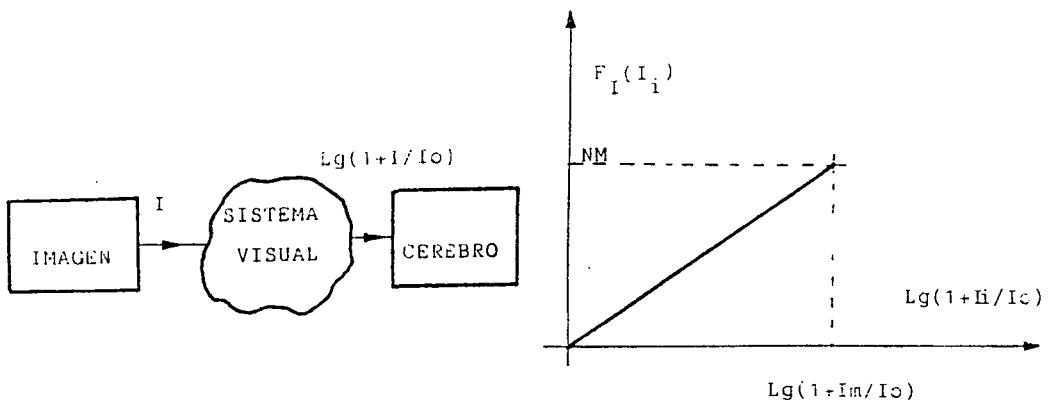


FIG. II.47. Transformación de tipo logarítmico.

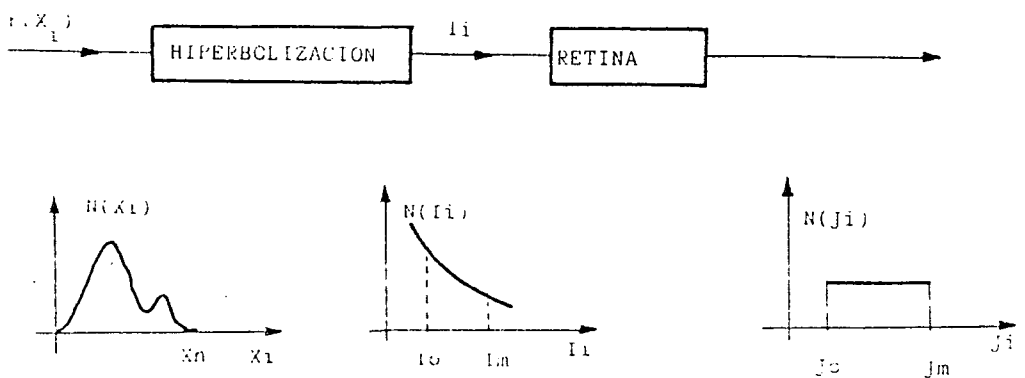


FIG. II.48. Esquema del proceso propuesto por Frei.



FIG. II.50a. Imagen ejemplo

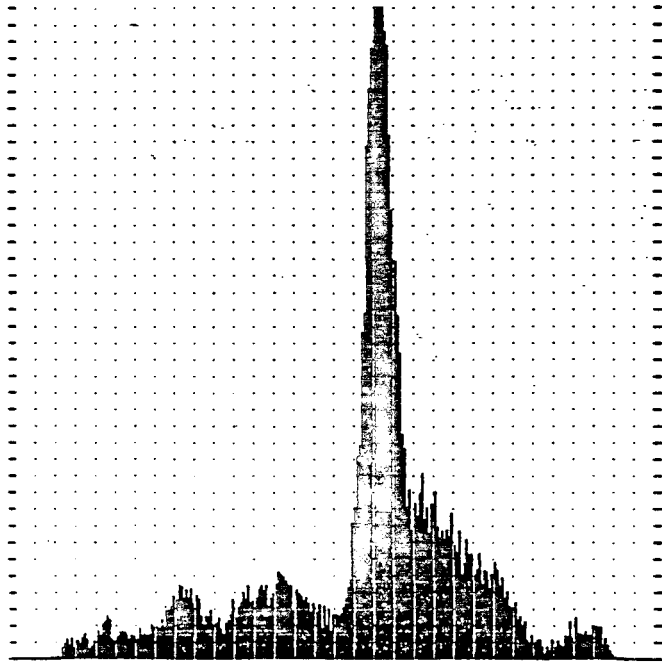


FIG. II.50b. Histograma de la imagen anterior



FIG. II.50c Resultado del proceso de igualación de histograma aplicado a la imagen de la figura II.50a

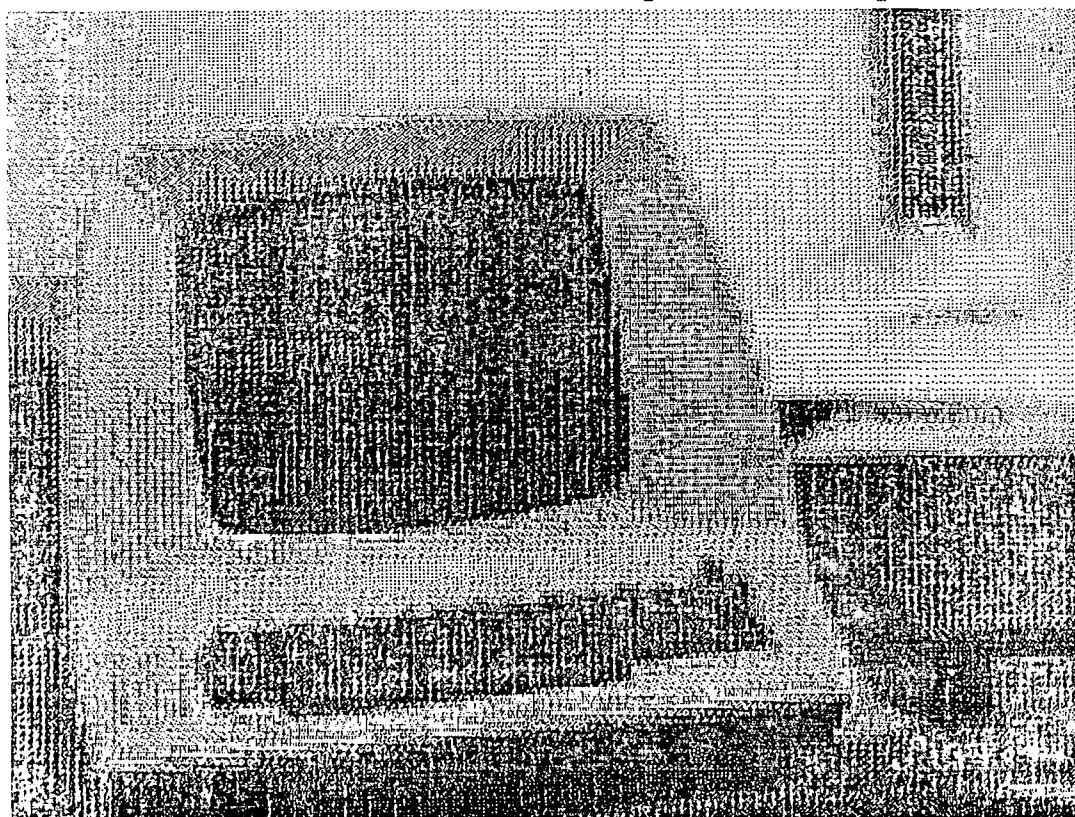


FIG. II.51a. Imagen Ejemplo.

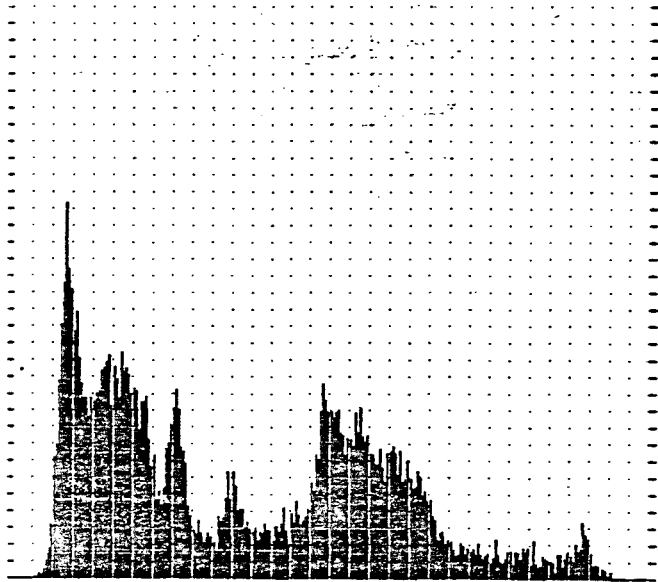


FIG. II.51b. Histograma de la imagen anterior.

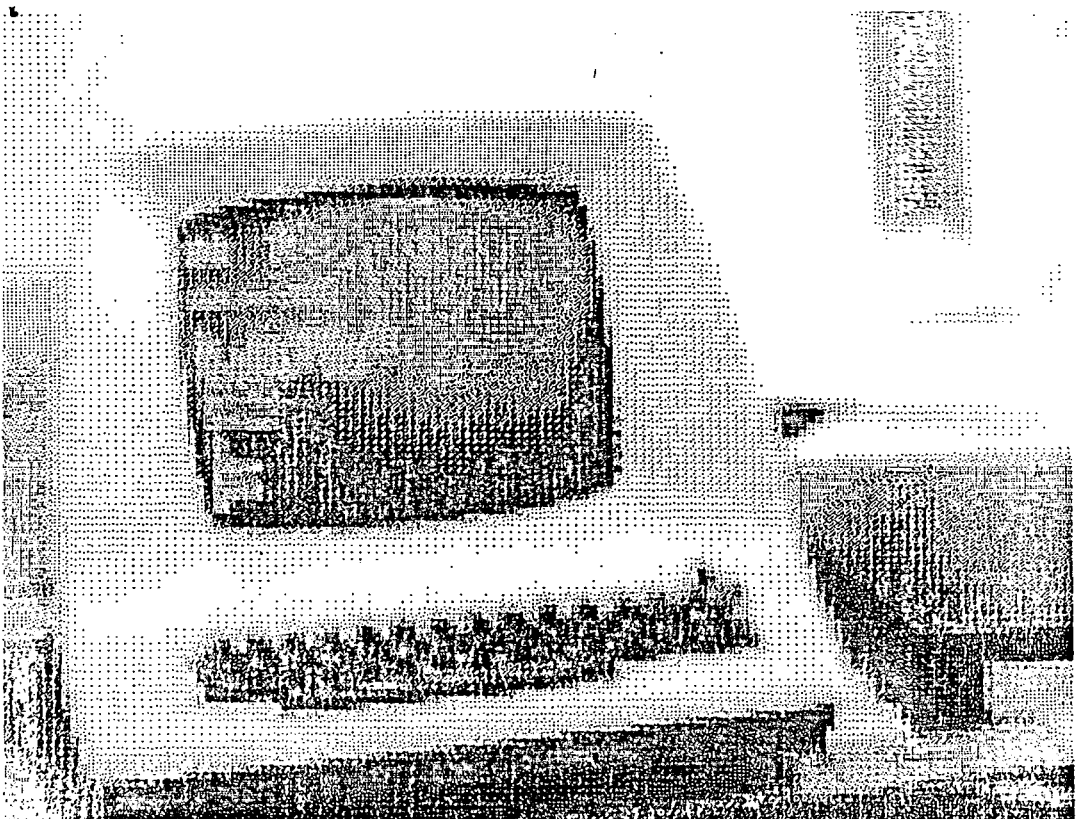


FIG. II.51c. Resultado de aplicar una transformación de tipo logarítmico la imagen de la figura II.51a. con $I_0=0.5$.

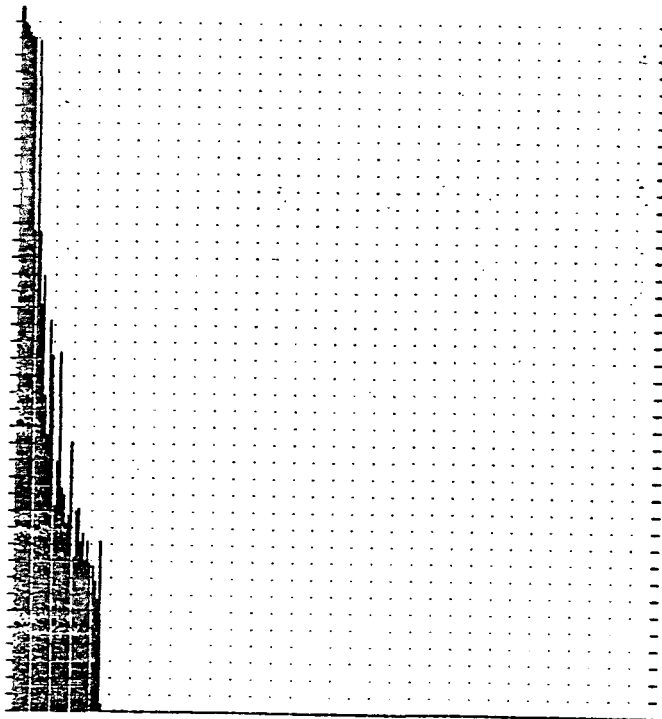


FIG. II.51d Histograma de la imagen anterior.

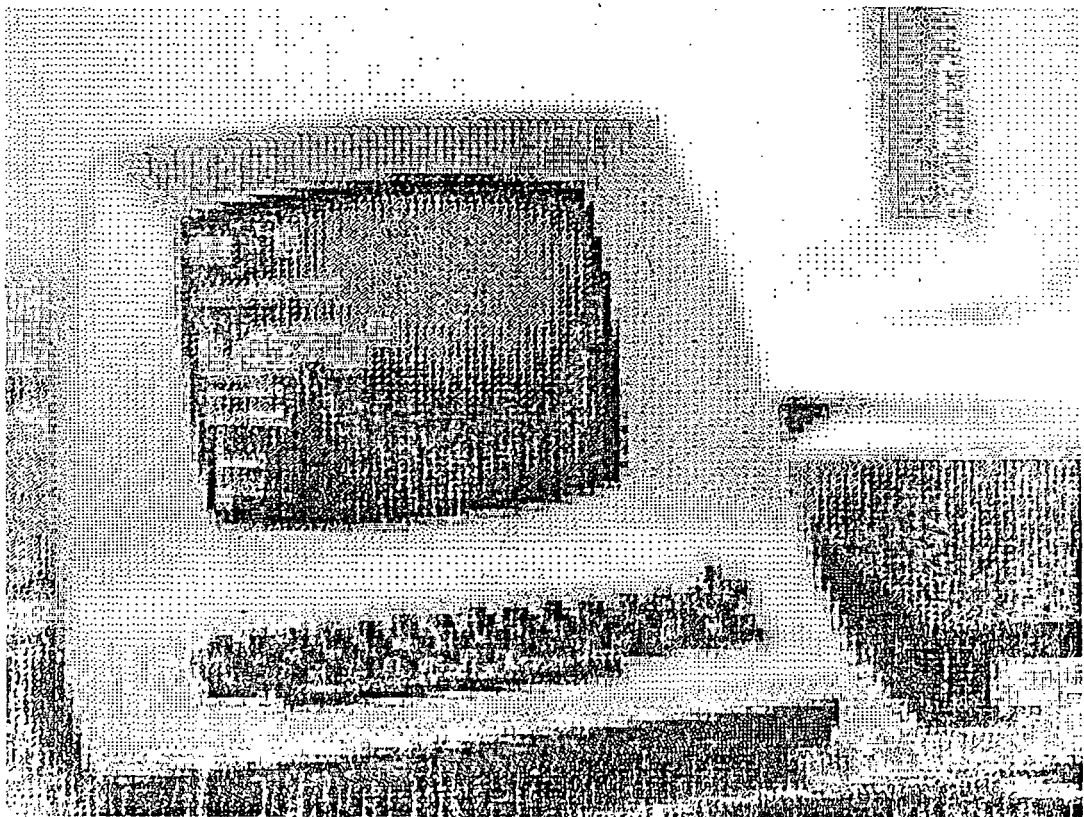


FIG. II.51e. Idem anteriores con $I_0=3$.

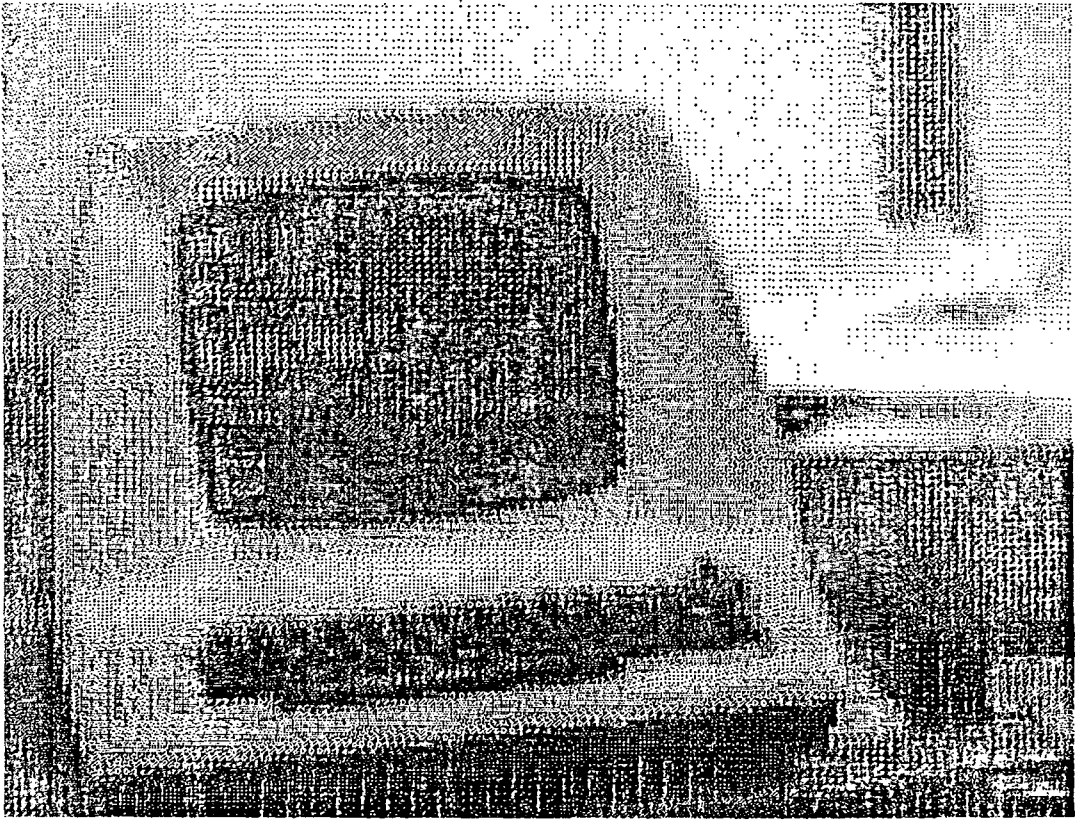


FIG. II.51f. Resultado de la transformación
logarítmica con $I_0=10$.

2.6.5 IMPRESION EN COLOR

=====

El problema de la reproducción de imágenes adquiridas por la cámara admite soluciones diversas; bien realizando mezclas aditivas de un color en un mismo punto, o bien construyendo estas mezclas a partir de puntos muy cercanos en el espacio tiempo, debido a la limitación en la agudeza y a la existencia de la memoria visual, producto la primera de la naturaleza discontinua de La superficie retiniana. Analizaremos el caso de la reproducción cromática utilizando una impresora que permite el acceso al punto y que posee 4 cintas de colores elementales que se corresponden con el Amarillo , Cian, Magenta y Negro.

Cuando los conos de la retina son estimulados por radiaciones primarias procedentes de un mismo punto del espacio o de puntos muy próximos se producen en la corteza visual reacciones análogas. Esto es debido a la agudeza visual del sistema óptico humano, y que es aproximadamente igual a un minuto de arco para el observador humano promedio. Este fenómeno de integración se llama mezcla aditiva espacial y la condición para que se verifique para un observador humano standar, es que la separación entre

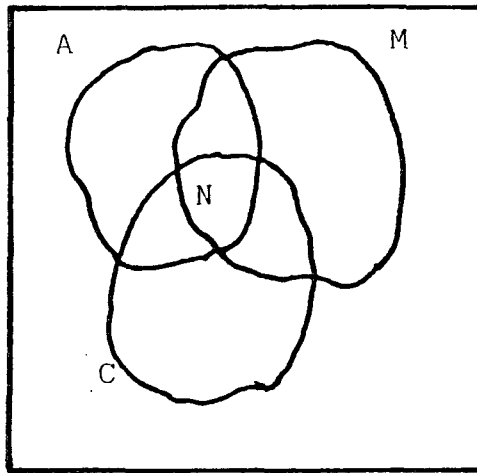
puntos subtienda un ángulo igual al de 0.3 mm o menos, para una distancia superior a un metro desde el cristalino a la superficie que contiene la imagen impresa.

Dentro de los límites de integración visual un grupo cercano de puntos de colores serán percibidos por el sistema visual humano como si se tratara de una fuente puntual, cuyo espectro resultante fuera la suma de los espectros componentes de la radiación de cada uno de los puntos del grupo. En esto se basa la síntesis del color por los receptores de televisión. En ellos los haces electrónicos que emiten los cátodos son modulados por las señales R,G,B procedentes de la escena y presentes en la señal de video, y dirigidos hacia los fósforos de la pantalla, produciéndose por impacto luminancias roja verde y azul, pues en cada zona elemental (triada) existen fósforos formados por las sales inorgánicas adecuadas. Estas zonas son verdaderos radiadores planckianos fluorescentes, existiendo en el tubo de imagen de TVC unos 400.000 de ellos.

En el caso de querer sintetizar una imagen en la impresora con los colores mencionados el problema es en principio diferente. En primer lugar, como el resultado del proceso es una superficie impresa, la

imagen incidente al sistema visual humano será producto de reflexiones y no de radiaciones puras. En segundo lugar hay que indicar que el máximo blanco posible a sintetizar será el blanco de fondo del papel, al que habrá que hacer intervenir en las ecuaciones, lo cual, como veremos, nos conducirá a una serie de indeterminaciones.

Con las consideraciones aludidas, el problema puede plantearse como sigue: " Dado un pixel de dimensiones $n \times m$ de una imagen global de $N \times M$ pixels deben distribuirse en el puntos de colores Amarillo, Magenta, Cyan, Blanco y Negro (los cuales pueden superponerse), de manera que, a partir de las componentes puntuales Y,R,B que proporciona la cámara de TVC, se obtengan las densidades de los cinco colores citados más las correspondientes a las mezclas Amarillo-Magenta, Amarillo-Cyan y Magenta-Cyan. (FIG. II.52).



PIXEL

A:Amarillo
M:Magenta
C:Cian

FIG. II.52 Distribución en el pixel de las distintas combinaciones de colores.

El siguiente conjunto de ecuaciones formalizan el problema:

$$\begin{aligned}
 Y &= K \sum_{i=1}^8 S_i Y_i \\
 R &= K \sum_{i=1}^8 S_i R_i \\
 B &= K \sum_{i=1}^8 S_i B_i \\
 K &= 1 / S_T = 1 / \sum_{i=1}^8 S_i
 \end{aligned}
 \quad ; S_i \leq 0$$

(2.35)

Donde S_T es la superficie total del pixel de dimensiones $n \times m$. Cada una de las tres primeras ecuaciones puede descomponerse en los diversos términos correspondientes a la contribución de la superficie de color a la componente cromática en

cuestión. Así por ejemplo para la Luminancia se tiene:

$$\begin{aligned}
 S_T Y_T &= S_W Y_W + S_{A-(A \wedge (MUC))} Y_A + S_{C-(C \wedge (MUA))} Y_C + \\
 &+ S_{M-(M \wedge (AUC))} Y_M + S_{AAC-N} Y_{AAC} + S_{MAC-N} Y_{MAC} + \\
 &+ S_{AAM-N} Y_{AAM} + S_N Y_N
 \end{aligned}$$

Análogamente ocurriría para las otras componentes R y B.

Puesto que Y_i , R_i , B_i son los datos y las S_i las incógnitas, el sistema (2.35) resulta evidentemente indeterminado. Sin embargo, si suponemos que no existe intersección entre los colores elementales de cara a la contribución a la componente cromática, podemos realizar algunas simplificaciones. Bajo este supuesto (2.35) se transforma en:

$$Y = \sum \alpha_i Y_i = \alpha_A Y_A + \alpha_M Y_M + \alpha_C Y_C + \alpha_W Y_W + \alpha_N Y_N$$

$$R = \sum \alpha_i R_i = \alpha_A R_A + \alpha_M R_M + \alpha_C R_C + \alpha_W R_W + \alpha_N R_N$$

$$B = \sum \alpha_i B_i = \alpha_A B_A + \alpha_M B_M + \alpha_C B_C + \alpha_W B_W + \alpha_N B_N$$

(2.36)

Siendo las α_i las densidades relativas de cada color dentro del pixel. Como las distintas componentes Y,R,B, del Negro son nulas, puesto que los puntos de este color no contribuyen en ninguna de las tres primeras ecuaciones, podemos replantear el sistema dejando como parámetro la densidad de puntos blancos. Con estas consideraciones resulta:

$$\alpha_A = C_A / \Delta - \alpha_W \Delta_A / \Delta$$

$$\alpha_C = C_C / \Delta - \alpha_W \Delta_C / \Delta$$

$$\alpha_M = C_M / \Delta - \alpha_W \Delta_M / \Delta$$

(2.37)

Los parámetros C_i ($i=A,M,C$) se pueden obtener a partir de las componentes originales Y,R,B procedentes de la cámara, asociadas a cada pixel:

$$C_A = R (Y_M B_C - B_M Y_C) + Y (B_M R_C - R_M B_C) + B (R_M Y_C - R_C Y_M)$$

$$C_B = R (Y_C B_A - Y_A B_C) + Y (R_A B_C - R_C B_A) + B (R_A Y_C - R_C Y_A)$$

$$C_C = R (Y_A B_M - B_M Y_A) + Y (B_M R_A - R_A B_M) + B (R_A Y_M - R_M Y_A)$$

(2.38)

Mientras que los coeficientes Δ_i ($i=A,M,C$) resultan ser constantes y de valores:

$$\Delta_A = \begin{vmatrix} R_W & R_M & R_C \\ Y_W & Y_M & Y_C \\ B_W & B_M & B_C \end{vmatrix} ; \Delta_M = \begin{vmatrix} R_A & R_W & R_C \\ Y_A & Y_W & Y_C \\ B_A & B_W & B_C \end{vmatrix}$$

$$\Delta_C = \begin{vmatrix} R_A & R_M & R_W \\ Y_A & Y_M & Y_W \\ B_A & B_M & B_W \end{vmatrix} ; \Delta = \begin{vmatrix} R_A & R_M & R_C \\ Y_A & Y_M & Y_C \\ B_A & B_M & B_C \end{vmatrix}$$

(2.39)

El sistema (2.37) junto con la condición de que la suma de todos los α_i sea la unidad es aún indeterminado, y para su resolución podemos emplear metodologías de programación lineal que lleven a una solución para las distintas α_i , de manera que todas sean positivas con la condición adicional de que la α_W correspondiente al blanco sea máxima.

Si representamos en forma tridimensional las ecuaciones (2.37), nos queda como solución, un segmento de la recta:

$$\frac{\Delta\alpha_A^{-C_A}}{\Delta_A} = \frac{\Delta\alpha_C^{-C_C}}{\Delta_C} = \frac{\Delta\alpha_M^{-C_M}}{\Delta_M} \quad (2.40)$$

Comprendido en el primer octante del espacio α , (FIG. II.53).

La solución (FIG. II.54) se reduce pues a encontrar el máximo α_W que satisfaga el sistema tal que haga todos los α_i positivos. Probaremos, a partir de $\alpha_W = n \times m$, valores decrecientes de α_W , hasta encontrar la solución óptima. Los puntos extra que es preciso añadir para completar la dimensión del pixel, serán cubiertos por puntos negros que no afectan a los valores finales del conjunto cromático.

Para la obtención de las componentes de las distintas cintas de color se han tomado con la cámara un pattern de cada una de ellas consistente en un cuadrado de dimensiones 80 x 80 de cada color impreso. A partir de estas componentes se obtuvieron los coeficientes para la elaboración del programa de impresión denominado PRTCOLOR y se le ha desarrollado en lenguaje de alto nivel (Pascal). El periférico sobre el cual se vuelcan las distintas líneas de la imagen es una impresora PRISM 132 de Integral Data Systems, que permite el acceso al punto y posibilita el empleo alternativo de cuatro cintas de color.

El organigrama del programa principal puede verse en el Apendice 5.2. Los pixels que se elaboran son de 7x8 puntos, realizandose el proceso por líneas, pues la comunicación del sistema (HP 3000) con el periférico es serial (RS232C) y el tiempo de proceso es sobradamente inferior al de envío. Para cada línea de la imagen se leen en LR, LB, LY las componentes cromáticas de la misma. A continuación para cada punto se llama la subrutina ALFA que se encarga de la obtención de las densidades de puntos para cada color, y devuelve un vector BETA (i) $i=1..5$, donde se encuentran las densidades de puntos de color en el intervalo 0-56. Una vez obtenidas las densidades correspondientes a cada color se llama la subrutina PIXE, que, a partir del vector BETA (i) genera PIXE (i,j), $i=1..4$, $j=1..56$, donde distribuye, según una ley de tipo aleatorio, los puntos en función de las densidades de los cuatro colores. La generación de este conjunto se efectúa llenando con "1" la parte del vector que corresponda al color de máxima densidad e introduciendo "0" de forma aleatoria en un número igual a la suma de las otras densidades. Con una subrutina random se generan 56 valores (alfa maximo) números aleatorios en un conjunto, que se distribuye en el resto de las componentes de PIXE (i,j), previamente puestas a cero.

A continuación cuando ya se ha generado PIXE (i,j), se convierte su contenido en caracteres mediante la función GENERACARAC y se distribuyen en las líneas de impresora para su posterior envío a ésta. Una vez completada la línea de la imagen y generadas las cuatro líneas de impresión; LCYAN, LMAGENTA, LAMARILLO, LNEGRO, se envían a la impresora intercalando entre ellas los códigos de CR y de cambio de color. Terminada la impresión con la cinta de color negro, se le envía un CR-LF. Esta secuencia se repite hasta completar las 116 líneas horizontales de la imagen.

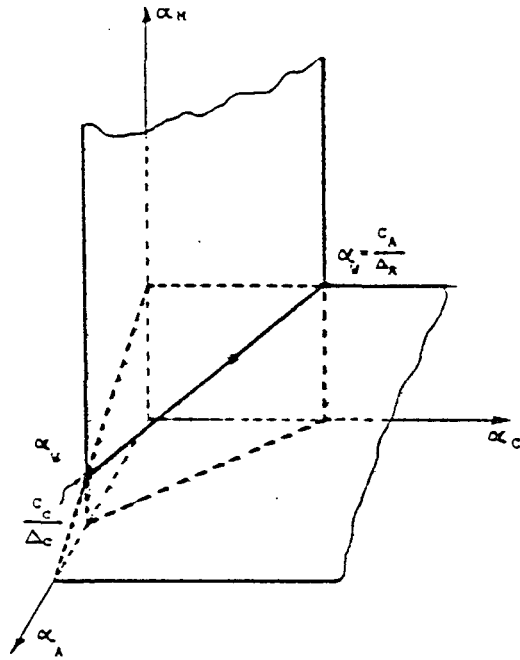


FIG. II.53. Representación espacial

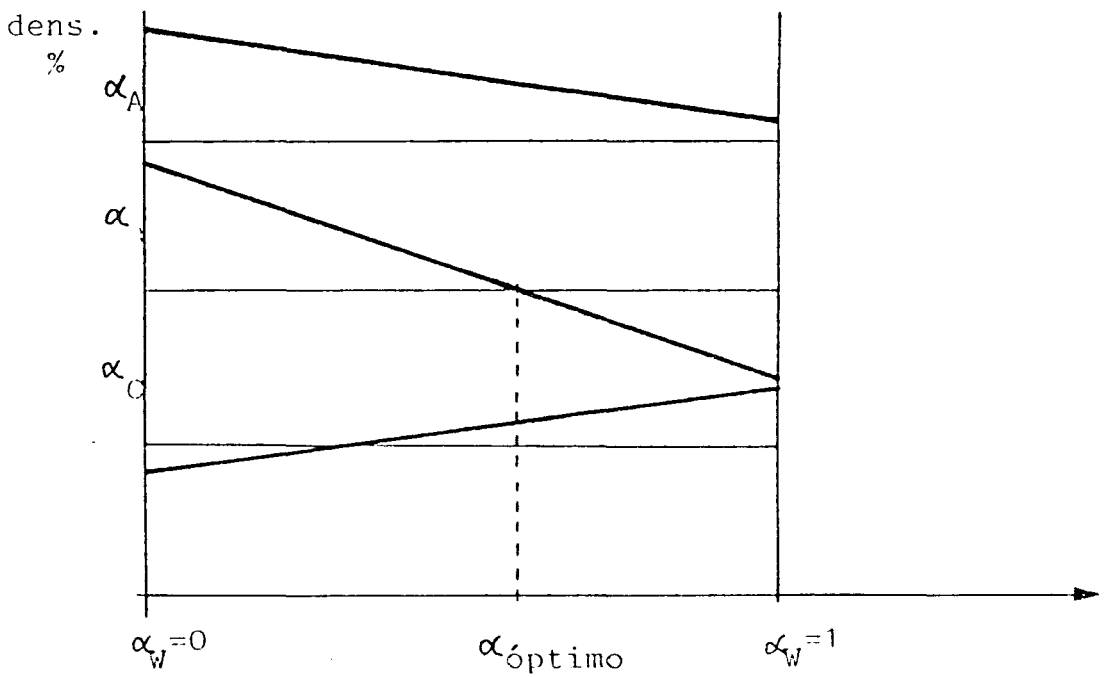


FIG. II.54. Solución por metodologías de programación lineal.

III. PROCESO Y RECONOCIMIENTO EN ESPACIOS CROMATICOS

3.1 PREPROCESO

3.1.1 INTRODUCCION

No solo las perturbaciones de cámara y los errores del tubo y óptica ocasionan distorsiones y anomalías en las imágenes. Existen además en ellas componentes de ruido de naturaleza no controlada que introducen errores que han de ser corregidos si se desean evitar posteriores problemas. En general por motivos de diversa índole, aparece un ruido de naturaleza no correlada superpuesto en la imagen que enmascara la información significativa. Los factores que motivan este ruido pueden ser internos, como ejemplo los ruidos creados por inducción en los conductores de la señal de video, los cuales son los más difíciles de detectar y eliminar.

Anteriormente hemos tratado el problema de las correcciones homotético-parabólicas para aminorar efectos de la óptica de la cámara. Por otra parte el problema del incremento de la relación señal-ruido

en los conductores se solventa con el adecuado conexionado de pantallas electromagnéticas, sin embargo pese a todo, otros factores externos no controlados producen alteraciones en la imagen que deben ser subsanadas.

Además de las razones mencionadas que justifican el empleo de técnicas de preproceso en el mecanismo global de reconocimiento existen otras muy importantes como la adecuar la imagen incidente a unas determinadas condiciones normalizadas que faciliten el tratamiento posterior.

En los siguientes apartados se explican algunos métodos de preproceso, que facilitan la obtención de información significativa y relevante, y que posibilitan la aminoración o la supresión de la presencia de ruido no deseado.

3.1.2 UMBRALIZACION

=====

Por umbralización se entiende la operación que transforma una imagen $f(x,y)$ en otra $g(x,y)$ definida como sigue:

$$g(x,y) = \begin{cases} f(x,y) & \text{si } f(x,y) \geq U \\ 0 & \text{en } \forall \text{ otro caso} \end{cases} \quad (3.1)$$

Esta transformación resulta particularmente interesante a la hora de extraer los objetos que forman parte de una escena separándolos del fondo de la misma, pudiendo aislárseles con relativa facilidad por procesamiento posterior. Además la operación de umbralización permite extraer los bordes de los objetos. Así por ejemplo, si un conjunto de objetos en una escena posee un nivel lumínico superior al fondo, ocurre que los bordes tendrán tonos intermedios que permiten proceso selectivo doble tal como el descrito por (3.1).

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{si } U_2 \leq f(x,y) \leq U_1 \\ 0 & \text{en } \forall \text{ otro caso} \end{cases} \quad (3.2)$$

Si se emplean umbrales como en (3.1), seguidos de binarización la situación es más definida, pues en muchos casos, la información que corresponde al interior de la forma u objeto es redundante.

En todos estos procesos, la cuestión reside básicamente en la obtención del nivel de umbral (U, U_1, U_2) de una forma rápida y eficaz. Una primera aproximación consiste en obtener cierta información de la salida $g(x,y)$ y realizar el estudio sobre la entrada $f(x,y)$. Por ejemplo si sabemos que la salida es la imagen de un número de piezas oscuras finito y conocido y el fondo de la imagen está iluminado uniformemente, podemos conocer el orden de magnitud del número de puntos del fondo y el de las piezas, con su nivel aproximado y así decidir el valor de umbral a aplicar. Sin embargo, éste puede no ser un método eficaz, puesto que, en general no se posee información de éste tipo respecto de la salida. Rosenfeld [87] propone el denominado "método de la moda" ; se basa en suponer una distribución bimodal para objetos y piezas existiendo dos picos máximos en el histograma de niveles de gris de la imagen, representativos del fondo y objetos de la misma. Se elige para el umbral la parte más baja del valle existente entre estos dos picos máximos. Weszka et al. [112], proponen una modificación de la técnica

anterior que reside primero en aplicar a la imagen el operador Laplaciana y considerar aquellos puntos donde el resultado de la operación es significativo. A continuación son ignorados todos los demás puntos, excepto aquellos próximos a un borde separador entre objetos en la escena o entre objetos y fondo. Debido a la simetría de la Laplaciana la frecuencia relativa de puntos de objetos y fondo es la misma y el histograma posee dos picos de igual peso pudiendo así separarse objetos y fondo con algoritmos de decisión más simples.

Estas técnicas residen en encontrar un umbral selectivo U tomando como referencia una función F_U descrita a partir de:

$$U = F_U (f_1(x,y), f_2(x,y)) \quad (3.3)$$

Es decir, no solamente se emplea información de la imagen de entrada sino también se usa aquella que suministran algunas transformaciones de la imagen como se describe en [112]. El algoritmo de selección empleado es el siguiente:

DATOS:

1. Para cada punto se evalúa el gradiente como el valor absoluto de las diferencias entre $f(i,j)$, $f(i+1,j)$, $f(i-1,j+1)$, $f(i,j-1)$ respectivamente. Si el resultado excede a un cierto valor h fijado, se hace $h(i,j)=1$; si no $h(i,j)=0$.

2. Se construye el histograma de $h(i,j)*f(i,j)$ y se escoge el umbral como valle del histograma.

3. Se efectúa con U y $f(i,j)$ la operación de umbralizado para obtener la imagen de salida.

la matriz $h(x,y)$ contiene los puntos con cambios significativos en la iluminación.

3.2.2.1 EL PROCESO DE UMBRAL COMO CLUSTERING

=====

Pueden utilizarse para encontrar el umbral adecuado las técnicas de segmentación o clustering. Aunque volveremos sobre el particular más adelante en posteriores apartados, vamos a explicar aquí el procedimiento a seguir cuando se utilizan estas técnicas.

Supongase que se tiene un conjunto de n muestras $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ y que se quiere realizar una partición X en c subconjuntos disjuntos X_1, \dots, X_c . En una primera aproximación al problema suponemos que conocemos la estructura probabilística global del mismo con la excepción de un cierto vector parámetro. Por la propia concepción del problema de la umbralización conocemos el número de clases c y la probabilidad a priori de cada clase $P(X_j)$ $j=1, \dots, c$. Además se conocen también las formas de las densidades de probabilidad condicionadas $P(X/X_j; \theta_j)$ donde $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_c$ son los valores de los c vectores parámetros a determinar. Suponemos que las muestras se obtienen seleccionando un estado de naturaleza X_j con probabilidad $P(X_j)$, de manera que podemos seleccionar X de acuerdo con la ley de probabilidad $P(X/X_j; \theta_j)$. La densidad de probabilidad para las muestras es entonces:

$$P(X/\bar{\theta}) = \sum_{j=1}^c P(X/X_j; \theta_j) P(X_j) \quad (3.4)$$

Siendo $\bar{\theta}$ el vector parámetro a determinar con c componentes $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_c$. El problema reside en estimar este vector $\bar{\theta}$.

Refiriéndonos a la función (3.4), se dice que

$P(X/\theta)$ es identificable si se verifica:

$$\theta \neq \theta_k \Rightarrow \text{EXISTE } X \mid P(X/\theta) \neq P(X/\theta_k)$$

Podemos emplear algunos métodos para determinar el valor de $P(X/\theta)$ para cada X , si el valor de $\bar{\theta}$ que produce el valor observado de $P(X/\theta)$ es único, entonces la solución es en principio, posible. Si hay valores distintos de θ que producen un mismo valor de $P(X/\theta)$ no es posible obtener una única solución.

En los casos en que existen dos niveles de iluminación claramente diferenciados en la imagen es posible realizar una estima de la función $P(X/\theta)$. Puede suponerse que la distribución de niveles de gris en estos casos corresponde a una mezcla de dos gaussianas. Para un tamaño de región fijo, las $P(X_j)$ son proporcionales a las áreas relativas de cada nivel de gris en la región y si las $P(X_j)$ no son iguales, $P(X/\theta)$ es identificable y es posible determinar sus componentes.

Consideremos la figura III.1, que representa el histograma de una imagen, supondremos que este tipo de distribuciones corresponde a una combinación de gaussianas de varianzas σ_1^2 y σ_2^2

$$p(x) = AP_1(x) + BP_2(x) \quad (3.5)$$

Donde $A+B=1$

$$P_i(x) = (1/\sigma_i(2\pi)^{1/2}) \exp(-\frac{1}{2}(x-\mu_i)^2/\sigma_i^2) \quad (3.6)$$

Aquí $P(X/\theta)$ tiene cinco parámetros desconocidos y $\bar{\theta}$ puede suponerse como un vector de cinco componentes :

$$\bar{\theta} = (\mu_1, \mu_2, \sigma_1, \sigma_2, A) \quad (3.7)$$

Para estimar estos parámetros a partir del histograma de los N niveles de gris de la imagen, emplearemos el procedimiento de minimizar el error cuadrático definido como:

$$E_h = (1/N) \sum_{i=1}^N (p(x_i) - h(x_i))^2 \quad (3.8)$$

Donde $P(X_i)$ es la expresión (3.5) antes descrita y $h(X_i)$ es el histograma de niveles de señal obtenido. De minimizar E_h nos resultan las siguientes condiciones:

$$\frac{\partial E_h}{\partial A} = 0 ; \sum_{i=1}^N RW_1 RW_2 = 0 ; RW_1 = p(x_i) - h(x_i)$$

$$\frac{\partial E_h}{\partial \sigma_k} = 0 ; \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_k)^2 RW_1 RW_2 = 0 ; RW_2 = \exp(-\frac{1}{2}(x_i - \mu_k)^2/\sigma_k^2)$$

$$\frac{\partial E_h}{\partial \mu_k} = 0 ; \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_k) RW_1 RW_2 = 0 ; k=1,2$$

De donde se obtienen 5 ecuaciones trascendentes de cómputo difícil y sólo resolubles mediante procedimientos de iteración numérica, para los cuales puede emplearse como primera aproximación dos de las modas diferenciadas del histograma. Mientras que para las varianzas, pueden utilizarse varianzas locales en torno a la media. Este procedimiento fue desarrollado por Chow et al. [23], aunque es posible realizar algunas simplificaciones, como las estudiadas en [75], basadas en determinar la moda y tomar en torno a ella, tres veces la varianza del conjunto de muestras; el valor de umbral es el de este punto.

En el caso de poder determinar los parámetros θ_i del vector $\bar{\theta}$ encontraríamos el valor de umbral a aplicar como sigue:

La probabilidad de clasificar a un punto como oscuro siendo claro es:

$$\epsilon_{c2} = \int_U^{\infty} P_1(x) dx \quad (3.9)$$

Y viceversa la de clasificar un punto oscuro como claro es:

$$\epsilon_{c1} = \int_{-\infty}^U P_1(x) dx \quad (3.10)$$

Y la probabilidad de error es:

$$\epsilon_{CT} = A \epsilon_{C1} + B \epsilon_{C2} \quad (3.11)$$

Elegimos U de forma que se minimize ϵ_{CT} haciendo:

$$\frac{\partial \epsilon_{CT}}{\partial U} = 0 \quad (3.12)$$

Obtenemos

$$(A/\sigma_1) \exp(-\frac{1}{2} ((U-\mu_1)/\sigma_1)^2) = (B/\sigma_2) \exp(-\frac{1}{2} ((U-\mu_2)/\sigma_2)^2) \quad (3.13)$$

Simplificando:

$$A_1 U^2 + A_2 U + A_3 = 0$$

$$A_1 = \sigma_1^2 - \sigma_2^2$$

$$A_2 = 2 (\mu_1 \sigma_2^2 - \mu_2 \sigma_1^2)$$

$$A_3 = \sigma_1^2 \mu_2^2 + \sigma_2^2 \mu_1^2 + 2 \sigma_1^2 \sigma_2^2 \ln (A \sigma_2 / B \sigma_1)$$

Resultando dos umbrales de la forma:

$$U_{1,2} = -\frac{A_2}{2A_1} \pm \left(\frac{A_2^2}{4A_1^2} - \frac{A_3}{A_1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.14)$$

Existen otras soluciones para la función

densidad de probabilidad $P(X/\theta)$, entre ellas la resultante de aproximar $h(x)$ dentro de los límites X_m, X_M (FIG III.2) por un polinomio de cuarto orden tal como:

$$p(x_i) = B_1 x^4 + B_2 x^3 + B_3 x^2 + B_4 x + B_5 \quad (3.15)$$

$$p(x_i) = 0 \quad x < X_m$$

Con

$$p(x_i) = 0 \quad x > X_M$$

La ecuación (3.5), tiene cinco parámetros desconocidos, siendo θ un vector de cinco componentes

$$\bar{\theta} = (B_1, B_2, B_3, B_4, B_5)$$

Minimizando la expresión (3.8) con $P(X_i)$ según la expresión anterior, resulta un conjunto de 5 ecuaciones de la forma

$$\frac{\partial E_h}{\partial B_k} = \sum_{i=1}^N x_i^{5-k} (p(x_i) - h(x_i)) \quad (3.16)$$

$$k = 1..5$$

Que conduce al siguiente sistema:

$$\sum x_i^3 h(x_i) = B_1 \sum x_i^6 + B_2 \sum x_i^5 + B_3 \sum x_i^4 + B_4 \sum x_i^3$$

$$\sum x_i^4 h(x_i) = B_1 \sum x_i^5 + B_2 \sum x_i^4 + B_3 \sum x_i^3 + B_4 \sum x_i^2$$

$$\sum x_i^3 h(x_i) = B_1 \sum x_i^4 + B_2 \sum x_i^3 + B_3 \sum x_i^2 + B_4 \sum x_i$$

$$\Sigma h(x_i) = B_1 \Sigma x_i^3 + B_2 \Sigma x_i^2 + B_3 \Sigma x_i + B_4 N \quad (3.17)$$

Este procedimiento tiene mucho más sencillez computacional que el definido anteriormente, y es resoluble de forma rápida empleando el método de Gauss-Seidel. El valor de umbral se encuentra a partir de (3.15), tras hallar el mínimo X_{mr} , y máximos (X_{Mr1}, X_{Mr2}) relativos (FIG. III.2). Existen dos alternativas para el mismo: bien emplear el mínimo X_{mr} , o bien utilizar valores ponderados de X_{mr} , X_{Mr1} y X_{Mr2} . Así resulta:

$$U = (X_{mr} + X_{Mr1} + X_{Mr2})/3 \quad (3.18)$$

La ecuación (3.18) es de fácil evaluación, pues el U así obtenido resulta de igualar a cero la derivada de la ecuación (3.15), es decir:

$$U = - B_2 / 4 B_1 \quad (3.19)$$

Así pues, no es necesario recurrir a soluciones lentas y complejas como en [23]. Pudiera ocurrir que existiese un número elevado de puntos que posean un nivel de iluminación cercano al origen. En este caso el coeficiente B_2 es negativo, y puede realizarse el ajuste por un polinomio de tercer orden entre $X_M=0$ y X_M (FIG III.2). Resulta así una cúbica con

un máximo y un mínimo X_{Mr1} y X_{mr1} . Es decir:

$$p(x_i) = C_1 x_i^3 + C_2 x_i^2 + C_3 x_i + C_4 \quad (3.20)$$

$$p(x_i) = 0 \quad \forall x_i \notin 0 \leq x_i \leq X_M$$

En este caso, el cálculo del valor de umbral es inmediato y vendrá dado por:

$$U = (X_{mr1} + X_{Mr2})/2 = -C_2/C_3 \quad (3.21)$$

El programa que realiza esta operación se denomina MFCALUM. Su listado y organigrama se presentan en el Apéndice 5.2. Para ilustrar la aplicación del método, hemos elegido la imagen de la figura III.3, que representa una escena de características análogas a las exigidas para este tipo de operación. En la figura III.4 puede verse el histograma de niveles de señal correspondiente. El resultado de la operación se presenta en la figura III.5. El método es también aplicable a textos escritos, con resultados aceptables (FIGS. III.6, III.7), incluso si se contaminan con ruido adicional (FIGS III.8, III.9).

La ventaja de tomar el valor de umbral U como (3.18) o como X_{mr} puede observarse en las figuras III.10 y III.11, donde se representan un conjunto de piezas y su histograma de grises. Si umbralizamos por

el mínimo X_{mr} del polinomio de cuarto orden (para el caso en que nos ocupa $U_{min}=159$), resulta la imagen de la figura III.12. Vemos que se pierden algunos grises significativos. Sin embargo el uso de (3.18) o (3.19) proporcionan un mejor umbralizado (FIG. III.13).

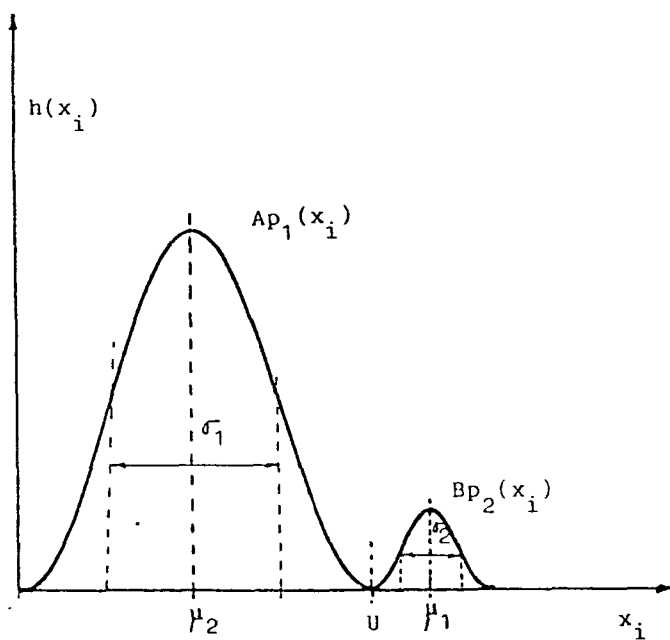


FIG. III.1 Ajuste de un histograma por dos gaussianas.

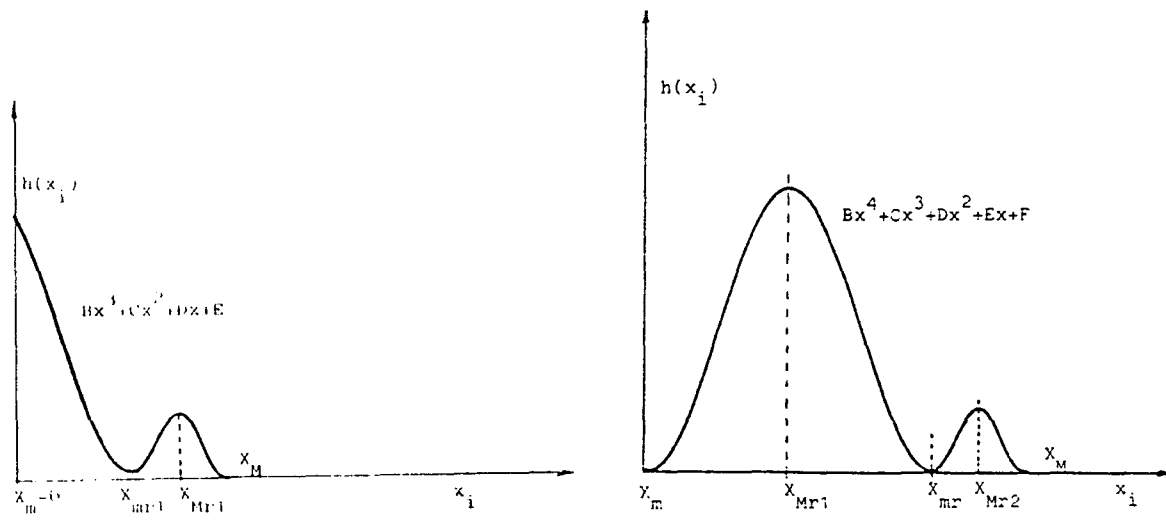


FIG. III.2 Ajuste de un histograma por un polinomio de tercero y cuarto orden.

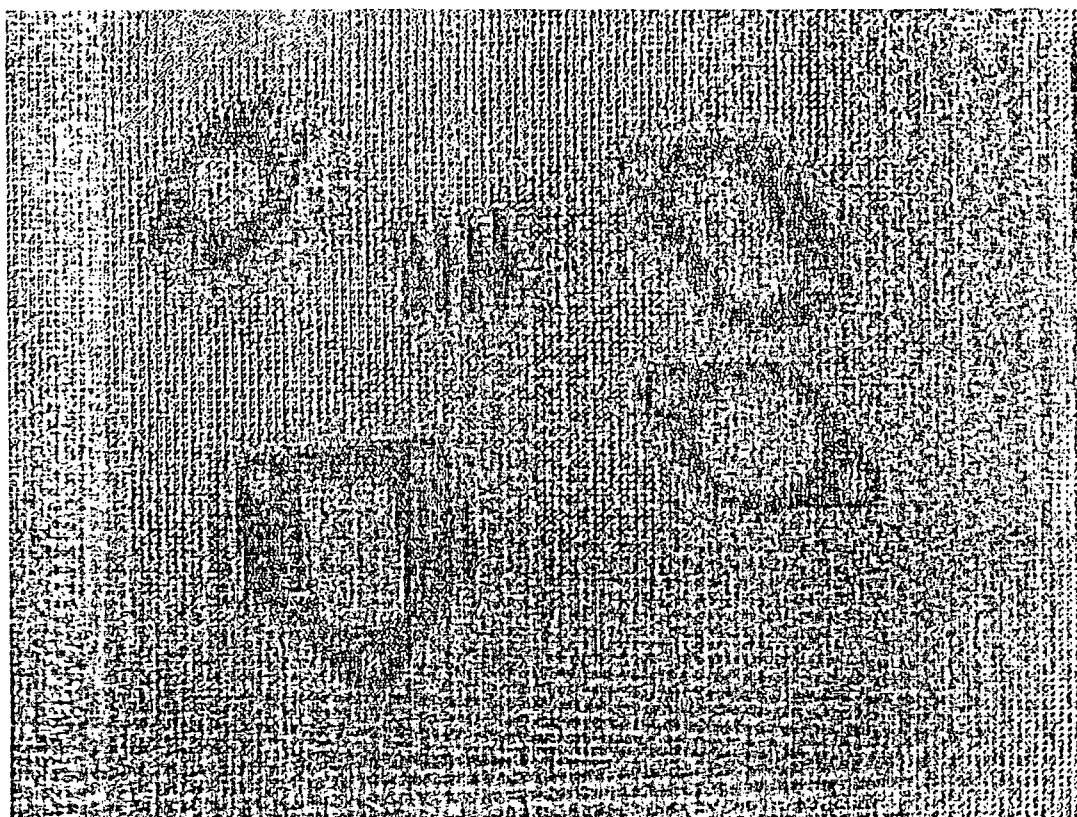


FIG. III.3. Imagen ejemplo.

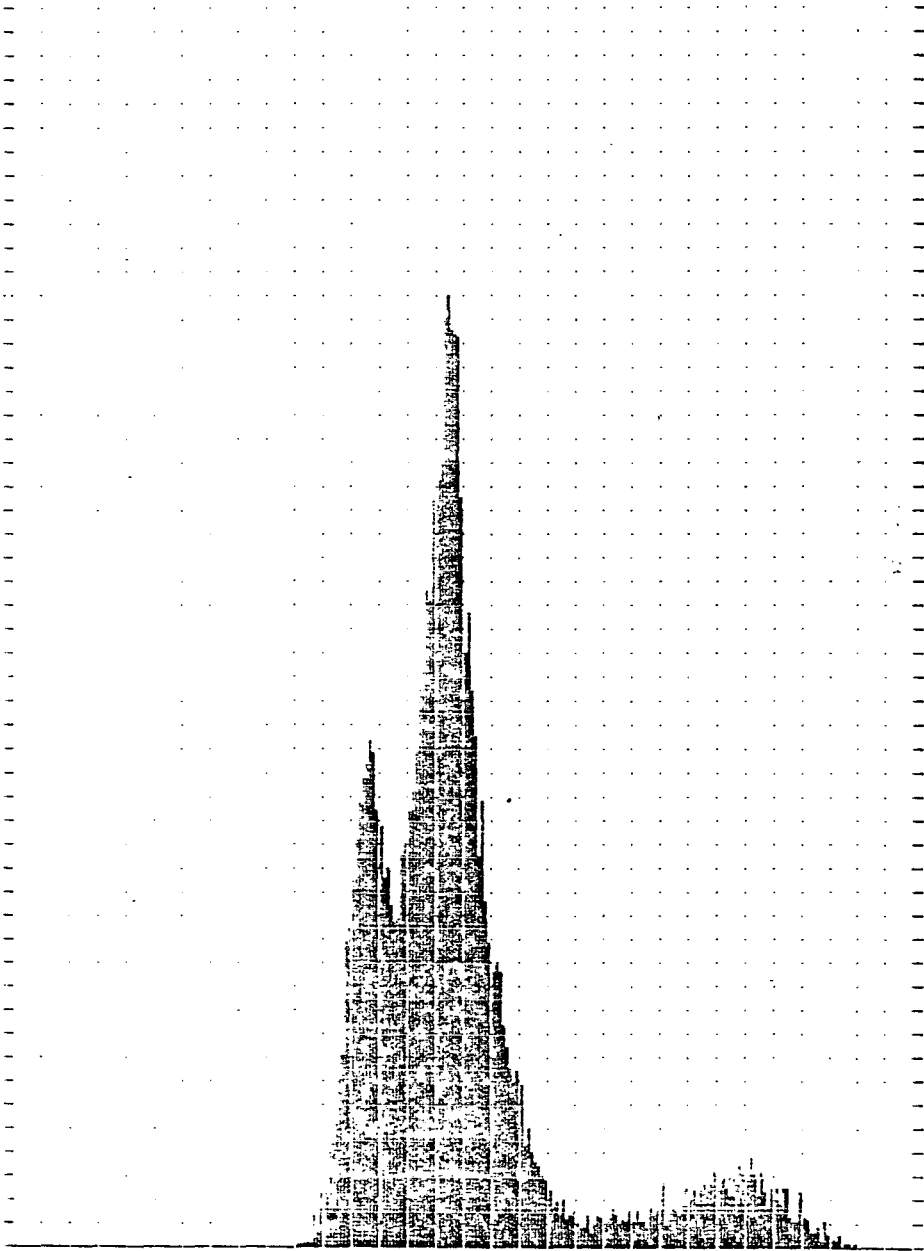


FIG. III.4. Histograma de la imagen de la figura anterior.

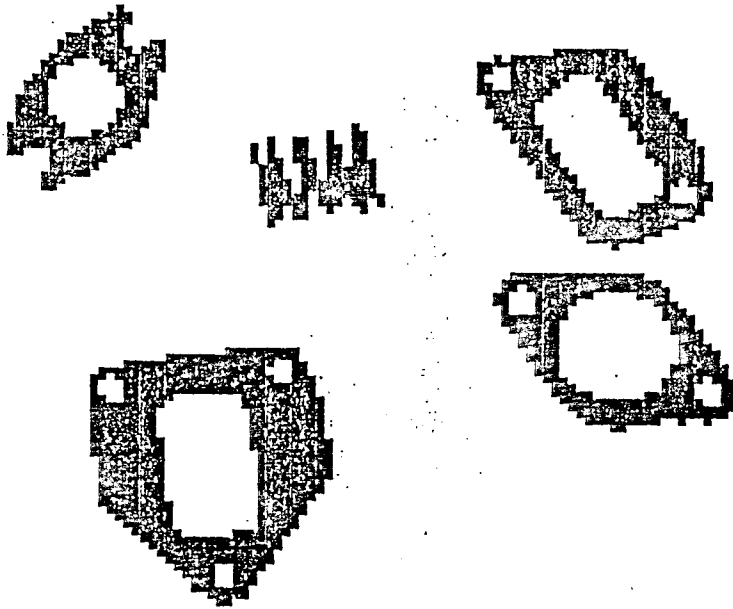


FIG. III.5. Resultado de la aplicación del umbral definido por (3.1).

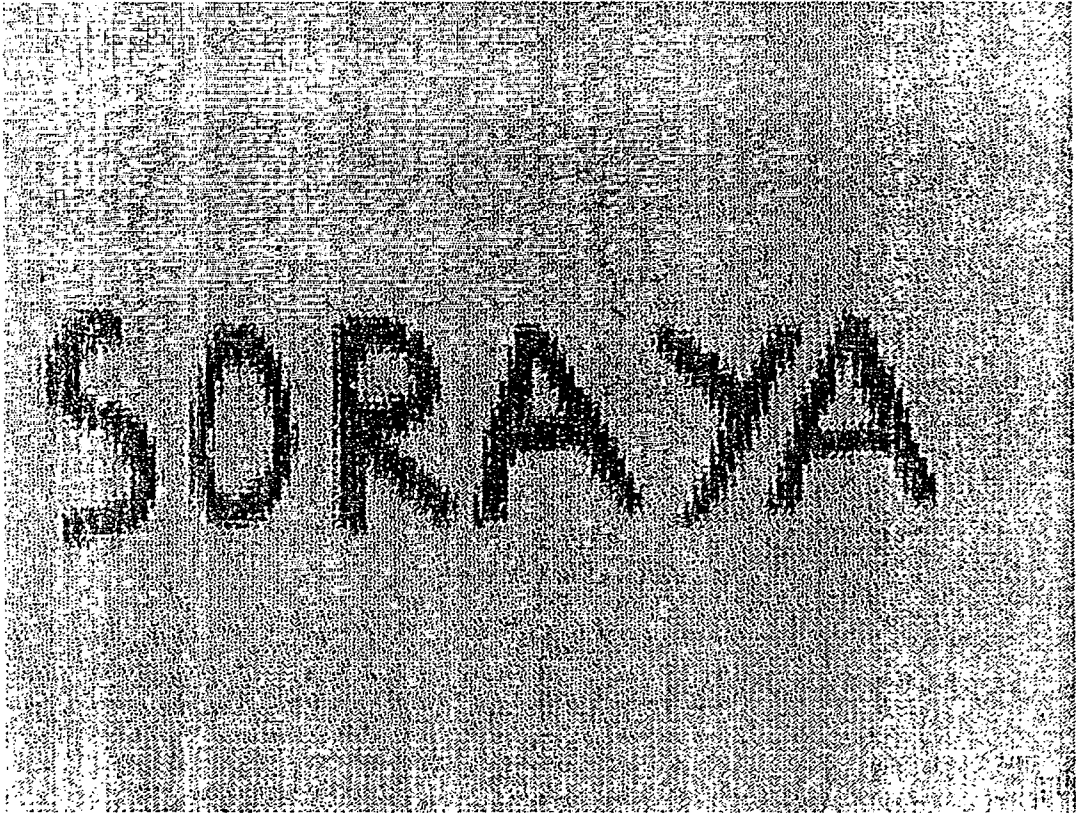
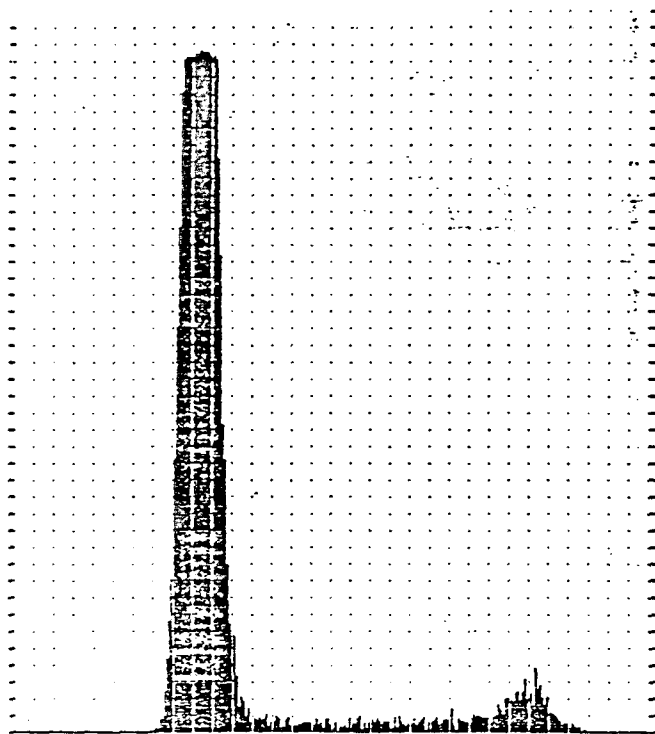


FIG. III.6.



SORAYA

FIG. III.7.

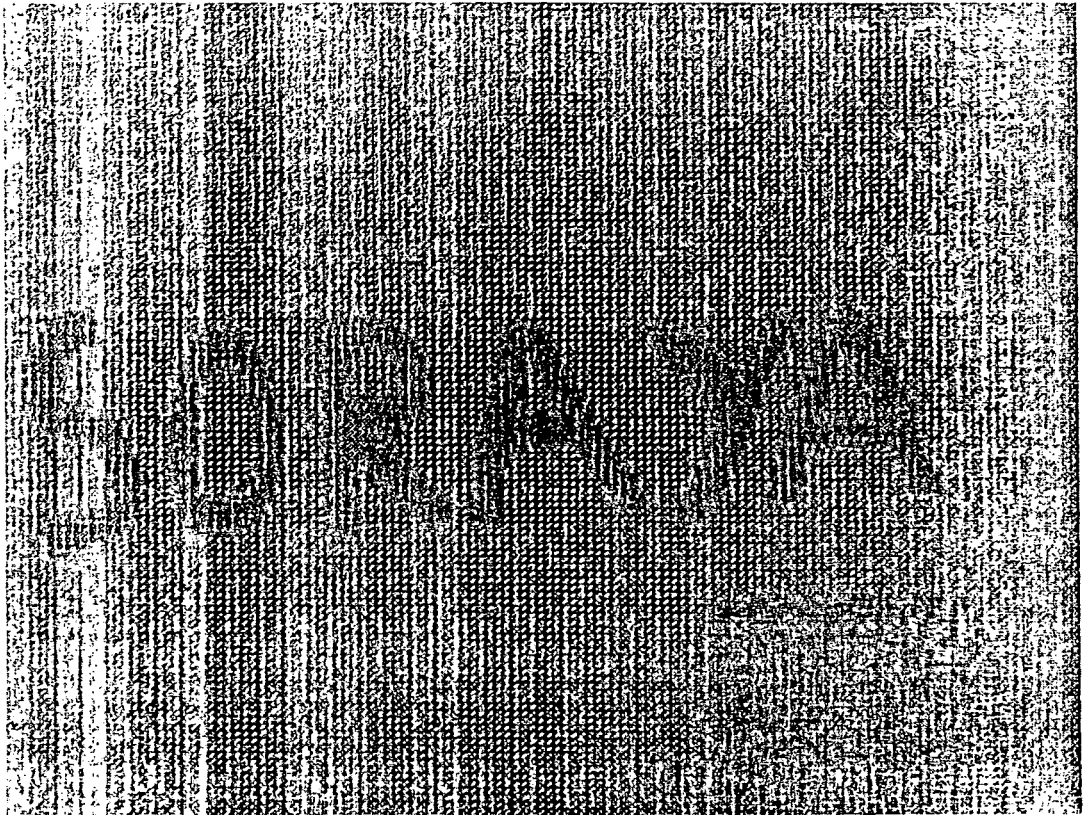
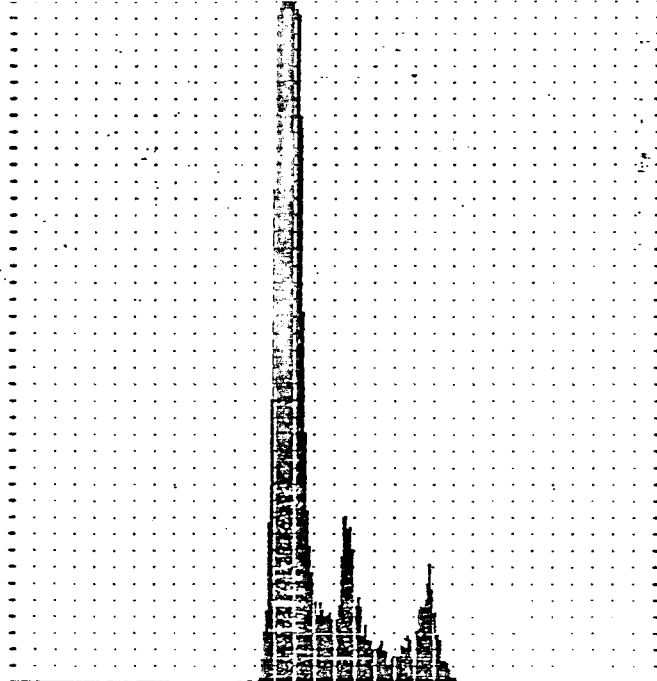


FIG. III.8.



SORAYA

FIG. III.9.

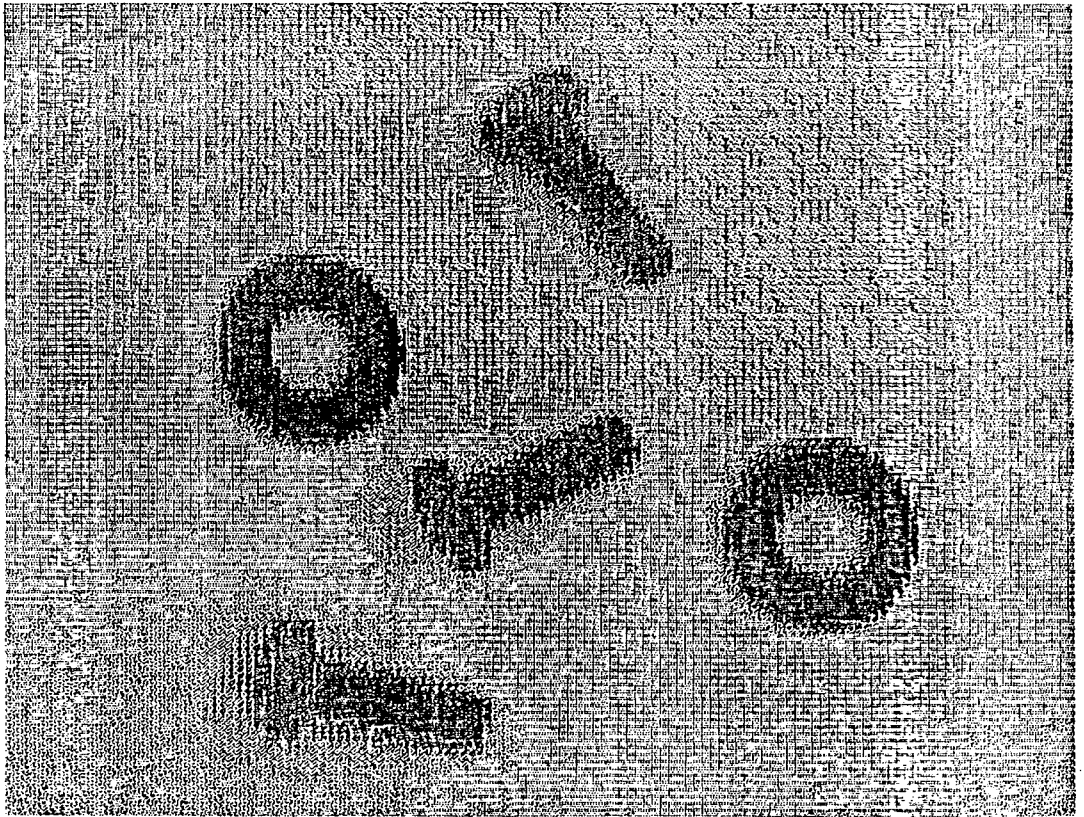


FIG. III.10.

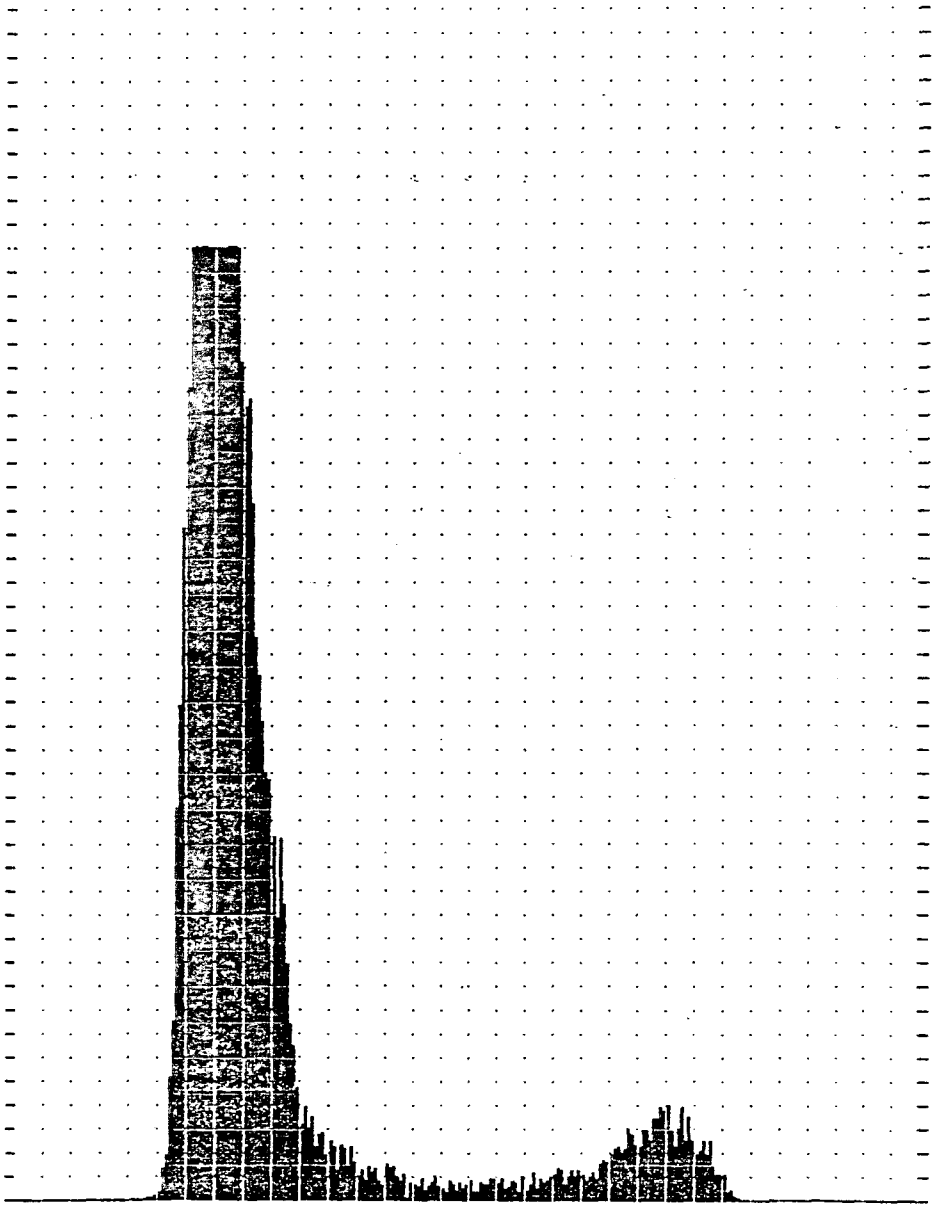


FIG. III. 11.

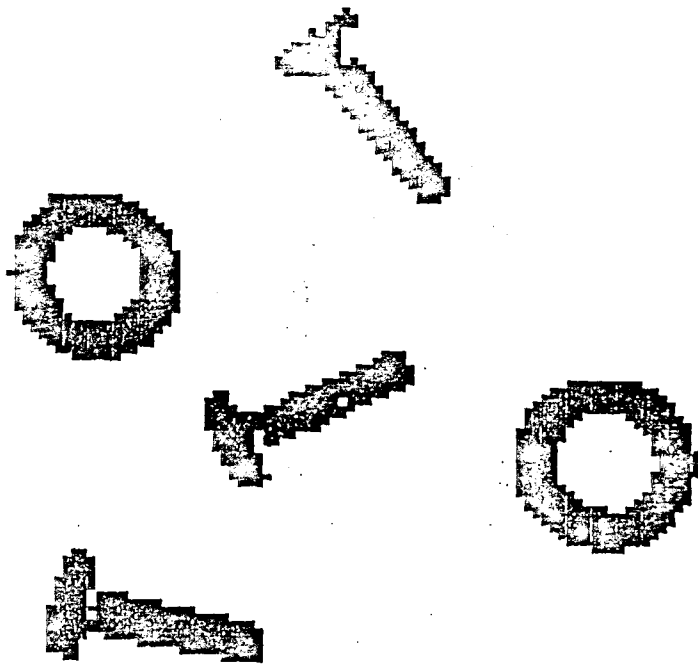


FIG. III.12.

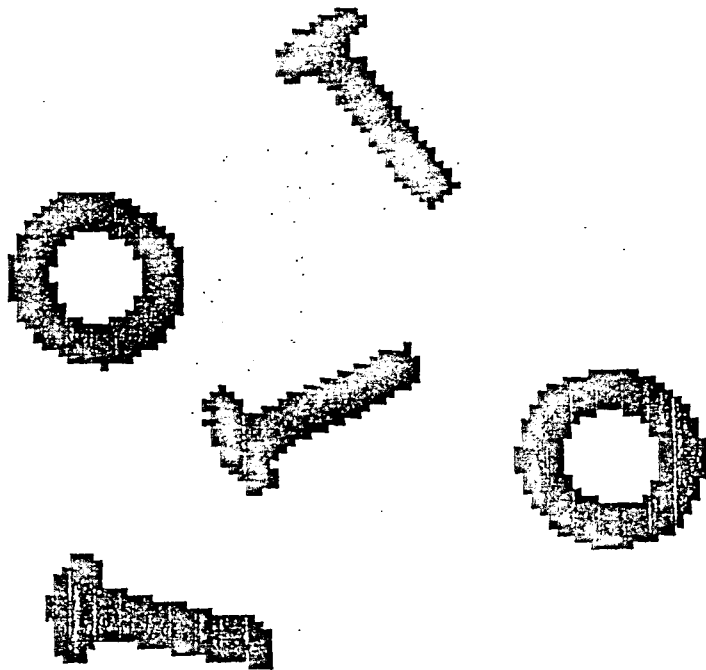


FIG. III.13.

3.1.3 FILTROS LINEALES ESPACIALES

=====

El empleo de filtros que sólo afecten a la componente espacial de una imagen resulta de interés, pues permite resaltar información que puede facilitar la identificación de los objetos de la misma.

Para realizar un breve estudio de estos filtros consideremos el conjunto de imágenes bidimensionales $f_{\alpha}(n,m)$, $\alpha=1,2,3$, que proceden del elemento sensor, obtenidas por muestreo sobre una red $(\Delta x, \Delta y)$ de $f_{\alpha}(x,y)$, es decir:

$$f_{\alpha}(n,m) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} f_{\alpha}(i,j) \delta(n-i\Delta x) \delta(m-j\Delta y) \quad (3.22)$$

A estas imágenes digitalizadas pueden aplicarse toda una serie de transformaciones T , invariantes en el tiempo, que afecten únicamente a la componente espacial de las señales bidimensionales $f_{\alpha}(n,m)$, generándose, a partir de ellas, otras $g_{\alpha}(n,m)$ que nos permiten resaltar u obtener algunas de las propiedades de aquellos elementos que componen la imagen original incidente. Sea pues T la transformación realizada de manera que:

$$g_{\alpha}(n,m) = T (f_{\alpha}(n,m)) \quad (3.23)$$

Sea $h(n,m)$ la respuesta impulsional correspondiente a esta transformación. La función de salida es calculable entonces como:

$$g_{\alpha}(n,m) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} h(i,j) f_{\alpha}(n-i,m-j) \quad (3.24)$$

3.1.3.1 FILTROS NO RECURSIVOS

=====

Si $h(n,m)$ es cero fuera de un área finita, el filtro se dice que es no recursivo, y los límites de la sumatoria son reemplazables por límites finitos. Para filtros no recursivos, la salida $g_{\alpha}(n,m)$ se obtiene a partir de un número finito de muestras de la señal de entrada $f_{\alpha}(n,m)$, pues para un filtro no recursivo se tiene que:

$$g_{\alpha}(n,m) = \sum_I \sum_J h(i,j) f_{\alpha}(n-i, m-j) \quad (3.25)$$

Al conjunto de puntos a los cuales extendemos la

sumatoria lo denominaremos región de soporte del filtro y en lo sucesivo lo denotaremos por R_{IJ} de manera que:

$$h(i,j) = 0 \quad \forall (i,j) \notin R_{IJ} \quad (3.26)$$

Existen un gran número de posibilidades para definir la región de soporte. Adoptaremos la más simple, que es tomar una región rectangular en torno al punto de trabajo, representada por:

$$R_{IJ} = \{ (k,l) \mid 0 \leq k \leq I-1 ; 0 \leq l \leq J-1 \} \quad (3.27)$$

Bajo las consideraciones mencionadas, la respuesta en frecuencia de un filtro espacial digital no recursivo $h(n,m)$ viene dada por :

$$H(\omega_x, \omega_y) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} h(n,m) \exp(-j(n\omega_x + m\omega_y)) \quad (3.28)$$

El problema de diseño se reduce a encontrar los adecuados coeficientes $h(n,m)$ que producen una respuesta dato en el dominio de la frecuencia. Para filtros no recursivos es preciso resaltar que debido al tamaño de R_{IJ} , $H(\omega_x, \omega_y)$ es un polinomio de las

variables e^{-jnwx} y e^{-jmw_y} , que es una función puramente real si y solo si se verifica la condición:

$$h(-n, -m) = h^*(n, m) \quad (3.29)$$

Estas consideraciones son muy importantes a la hora de reducir la cantidad de información y cómputo globales. A los filtros que poseen esta propiedad se les denomina en [68] filtros fase-cero, y son simétricos respecto al origen en el plano (n, m) , de manera que si los filtros son reales se cumplirá lo siguiente:

$$h(n, m) = h(-n, -m) \quad (3.30)$$

Pueden realizarse simplificaciones adecuadas para obtener estos filtros con relativa sencillez, como las efectuadas por Fiasconaro [33], que están basadas en construir filtros simétricos ($i=j$ en R_{ij}) y restringirlos al caso de coeficientes puramente reales. Es decir:

$$H(w_x; w_y) = H(|w_x|, |w_y|) \quad (3.31)$$

La respuesta en frecuencia definida por (3.28)

es en éste caso expresable por:

$$\begin{aligned}
 H(w_x, w_y) = & h(0,0) + 2 \sum_{n=1}^I h(n,0) (\cos(nw_x) + \cos(nw_y)) + \\
 & + 2 \sum_{n=1}^I h(n,n) (\cos(n(w_x + w_y)) + \cos(n(w_x - w_y))) + \\
 & + 2 \sum_{n=1}^I \sum_{m=1}^I h(n,m) (\cos(nw_x + mw_y) + \cos(nw_x - mw_y)) + \\
 & + \cos(mw_x + nw_y) + \cos(mw_x - nw_y)
 \end{aligned}$$

(3.32)

A partir de (3.32) pueden evaluarse los $h(n,m)$ correspondientes al filtro deseado. Sin embargo la respuesta impulsional de muchos filtros ideales poseen una extensión infinita. Por ello resulta imposible de implementarlos usando técnicas no recursivas. Para encontrar respuestas impulsivas con aproximaciones no recursivas se suele usar otro tipo de estrategias (por ejemplo, el empleo de funciones ventana y obtener las respuestas impulsivas de los filtros no recursivos a partir de las correspondientes ideales recursivas). Clásicamente los dos tipos de filtros ventana más comúnmente empleados son:

a) Los rectangulares, definidos como resultado de la extrapolación del caso unidimensional como sigue:

$$W_R(n,m) = \begin{cases} 1 & ; -I/2 \leq n \leq I/2 \quad \text{y} \quad -J/2 \leq m \leq J/2 \\ 0 & ; \text{V otro } (n,m) \end{cases}$$

(3.33)

b) Los circulares que pueden describirse por:

$$W_C(n,m) = \begin{cases} 1 & ; (n^2 + m^2)^{1/2} \leq R_C \\ 0 & ; \text{V otro } (n,m) \end{cases}$$

(3.34)

Evidentemente son posibles otros tipos de funciones ventana. La respuesta en frecuencia para el caso de funciones ventana rectangulares, resulta del producto de dos funciones separables como fácilmente se deduce a partir de:

$$W_R(w_x, w_y) = \iint_R \exp(-j(w_x n + w_y \mu)) \, dn \, d\mu$$

$$W_R(w_x, w_y) = \frac{\text{sen}((I+1)w_x/2) \text{sen}((J+1)w_y/2)}{\text{sen}(w_x/2) \text{sen}(w_y/2)}$$

(3.35)

Para el caso de filtro ventana circular, la respuesta en frecuencia no es tan inmediata y es preciso realizar algunas operaciones. La transformada de Fourier de (3.34) es:

$$\begin{aligned}
 W_C(w_x, w_y) &= \iint_R \exp(-j(w_x \eta + w_y \mu)) \, d\mu \, d\eta = \left\{ \begin{array}{l} \eta = \rho \cos \theta \\ \mu = \rho \sin \theta \end{array} \right. \\
 &= \int_0^{R_C} \int_0^{2\pi} \exp(-j(w_x \rho \cos \theta + w_y \rho \sin \theta)) \, d\theta \, d\rho = \left\{ \begin{array}{l} w_x = (w_x^2 + w_y^2)^{\frac{1}{2}} \sin(\psi - \theta) \\ w_y = (w_x^2 + w_y^2)^{\frac{1}{2}} \cos(\psi - \theta) \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

$$W_C(w_x, w_y) = \int_0^{R_C} \exp(j(w_x^2 + w_y^2)^{\frac{1}{2}} \sin(\psi - \theta)) \, \rho \, d\rho \, d\theta$$

$$\text{Como } \exp(-jz \sin \theta) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \exp(jk\theta) J_k(z)$$

Siendo $J_k(z)$ la función de Bessel de orden K , así resultará:

$$W_C(w_x, w_y) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \exp(jk(\psi - \theta)) \, d\theta \int_0^{R_C} J_k((w_x^2 + w_y^2)^{\frac{1}{2}}) \, \rho \, d\rho$$

Sumatoria que posee valor nulo excepto para $K=0$, que vale 2π . Además, como:

$$z J_0(z) = z J_1'(z) + J_1(z)$$

Donde $J_1'(z)$ es la derivada de la función de Bessel de orden uno, se tiene:

$$\begin{aligned}
 W_C(w_x, w_y) &= 2\pi \int_0^{R_C} J_0(\rho (w_x^2 + w_y^2)^{\frac{1}{2}}) \rho d\rho = \\
 &= 2\pi \int_0^{R_C} (\rho J_1'(\rho (w_x^2 + w_y^2)^{\frac{1}{2}}) + J_1(\rho (w_x^2 + w_y^2)^{\frac{1}{2}})) d\rho = \{z = \rho (w_x^2 + w_y^2)^{\frac{1}{2}}\} \\
 &= (2\pi / (w_x^2 + w_y^2)) (z J_1(z) \Big|_0^{R_C (w_x^2 + w_y^2)^{\frac{1}{2}}} - \int_0^{R_C (w_x^2 + w_y^2)^{\frac{1}{2}}} J_1(z) dz \\
 &\quad + \int_0^{R_C (w_x^2 + w_y^2)^{\frac{1}{2}}} J_1(z) dz)
 \end{aligned}$$

Obtenemos así para la respuesta en frecuencia de una ventana circular:

$$W_C(w_x, w_y) = \frac{2\pi R_C J_1(R_C (w_x^2 + w_y^2)^{\frac{1}{2}})}{(w_x^2 + w_y^2)} \quad (3.36)$$

Estas dos funciones ventana nos proporcionan una herramienta muy útil a la hora de diseñar filtros digitales espaciales. Si se parte de la respuesta en frecuencia de estos filtros $H(w_x, w_y)$ se puede obtener la respuesta ideal impulsiva $h_I(n, m)$ que nos daría la misma:

$$h_I(n,m) = (1/4\pi^2) \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} H(w_x, w_y) \exp(jw_x n + w_y m) dw_x dw_y \quad (3.37)$$

Multiplicando por alguna de las funciones ventanas descritas anteriormente se puede evaluar la respuesta impulsional del filtro no recursivo deseado, por medio de:

$$h(n,m) = h_I(n,m) W(n,m) \quad (3.38)$$

Cuya respuesta real en frecuencia viene dada por la expresión siguiente:

$$H_R(w_x, w_y) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left\{ (1/4\pi^2) \int_{-\pi}^{\pi} W(\mu, \eta) \exp(j(\mu n + \eta m)) d\mu d\eta \right\} h_I(n,m) \exp(-j(nw_x + mw_y)) \quad (3.39)$$

Es decir:

$$H_R(w_x, w_y) = \sum_i \sum_j h(n,m) \exp(j(nw_x + mw_y)) \quad (3.40)$$

i, j pertenecen a R_{ij} , región de soporte del filtro. La mayor o menor bondad de la respuesta en frecuencia del filtro ventana utilizado viene dada por el grado de aproximación a un impulso en el dominio de la frecuencia del lóbulo principal

(FIG.III.14). Cuanto más grande sean R_c o (I, J) tanto mejor será la respuesta en frecuencia del conjunto. Ambos se escogen de manera que resulten frecuencias de corte mucho más pequeñas que las correspondientes al filtro en cuestión. Aplicaremos a continuación las técnicas descritas a algunos filtros típicos.

3.1.3.2 APLICACIONES A FILTROS CLASICOS

=====

1. Paso-bajo

En el dominio de la frecuencia, el filtro ideal deseado (FIG III.15) posee una respuesta determinada por:

$$H_I(w_x, w_y) = \begin{cases} 1 & ; \text{ si } (w_x^2 + w_y^2)^{1/2} \leq R_W \\ 0 & ; \text{ } \forall \text{ otro } w_x, w_y \end{cases} \quad (3.41)$$

Este está representado en el plano w_x, w_y por un círculo de radio R_w . La respuesta ideal impulsiva para este caso será:

$$h_I(n,m) = (1/4\pi^2) \int_A \exp(j(nw_x + mw_y)) dw_x dw_y \quad (3.42)$$

Siendo A el área interior a la circunferencia $w_x^2 + w_y^2 = R_w^2$. Siguiendo un proceso análogo al que se siguió para encontrar (3.36), realizamos los cambios de variables:

$$w_x = w \cos\theta ; n = (n^2 + m^2)^{\frac{1}{2}} \sin\psi$$

$$w_y = w \sin\theta ; m = (n^2 + m^2)^{\frac{1}{2}} \cos\psi$$

$$h_I(n,m) = (1/4\pi^2) \int_0^{R_w} \int_0^{2\pi} \exp(jw(n^2 + m^2)^{\frac{1}{2}} \sin(\psi - \theta)) w dw d\theta$$

$$= (1/4\pi^2) \int_{k=-\infty}^{\infty} \int_0^{2\pi} \exp(ik(\psi + \theta)) d\theta \int_0^{R_w} J_k(w(n^2 + m^2)^{\frac{1}{2}}) w dw =$$

$$= (1/2\pi) \int_0^{R_w} J_0(w(n^2 + m^2)^{\frac{1}{2}}) w dw =$$

$$= (1/2\pi) \int_0^{R_w} (w J_1'(w(n^2 + m^2)^{\frac{1}{2}}) + J_1(w(n^2 + m^2)^{\frac{1}{2}})) dw$$

Resultando

$$h_I(n,m) = \frac{R_w J_1(R_w(n^2 + m^2)^{\frac{1}{2}})}{2\pi (n^2 + m^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (3.43)$$

La respuesta impulsiva del filtro no recursivo

correspondiente es:

$$h(n,m) = (R_w/2\pi) J_1(R_w(n^2+m^2)^{\frac{1}{2}}) W(n,m)/(n^2+m^2)^{\frac{1}{2}}$$

(3.44)

2. Paso-Banda

Para un filtro digital pasabanda ideal la respuesta en frecuencia (FIG.III.15) viene dada por:

$$1 \quad ; \quad R_{w1} \leq (w_x^2 + w_y^2)^{\frac{1}{2}} \leq R_{w2}$$

$$H(w_x, w_y) =$$

$$0 \quad ; \quad \forall \text{ otro } w_x, w_y \quad (3.45)$$

Por un procedimiento naturaleza parecida al anterior se obtiene la siguiente respuesta impulsional para el filtro ideal correspondiente:

$$h_I(n,m) = \frac{R_{w2} J_1(R_{w2}(n^2+m^2)^{\frac{1}{2}})}{2\pi (n^2+m^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{R_{w1} J_1(R_{w1}(n^2+m^2)^{\frac{1}{2}})}{2\pi (n^2+m^2)^{\frac{1}{2}}}$$

(3.46)

y del filtro recursivo:

$$h(n,m) = h_I(n,m) W(n,m)$$

(3.47)

3. Paso-alto

Para un filtro Paso-alto (FIG.III.16) la respuesta en frecuencia en el caso ideal es:

$$\begin{aligned}
 & 0 \quad ; \quad (w_x^2 + w_y^2)^{\frac{1}{2}} \leq R_w \\
 H(w_x, w_y) = & \\
 & 1 \quad ; \quad \forall \text{ otro } w_x, w_y
 \end{aligned}
 \tag{3.48}$$

Cuya respuesta impulsiva es:

$$h_I(n, m) = \delta(n, m) - h_{IPB}(n, m)
 \tag{3.49}$$

Siendo $h_{IPB}(n, m)$ la respuesta impulsional del filtro Paso-bajo de igual frecuencia de corte R_w que el tratado. Resulta así:

$$\begin{aligned}
 & 1 - R_w^2 / 4\pi \quad ; \quad n=0, m=0 \\
 h_I(n, m) = & \\
 & \frac{-R_w J_1(R_w (n^2 + m^2)^{\frac{1}{2}})}{2\pi (n^2 + m^2)^{\frac{1}{2}}}; \quad \forall \text{ otro } n, m
 \end{aligned}
 \tag{3.50}$$

La respuesta real puede obtenerse a partir del ideal con el empleo del filtro ventana apropiado.

$$\begin{aligned}
 & 1 - R_w^2 / 4\pi \quad ; \quad n=0, m=0 \\
 h(n, m) = & \\
 & \frac{-R_w J_1(R_w (n^2 + m^2)^{\frac{1}{2}})}{2\pi (n^2 + m^2)^{\frac{1}{2}}} W(n, m); \quad \forall \text{ otro } n, m
 \end{aligned}
 \tag{3.51}$$

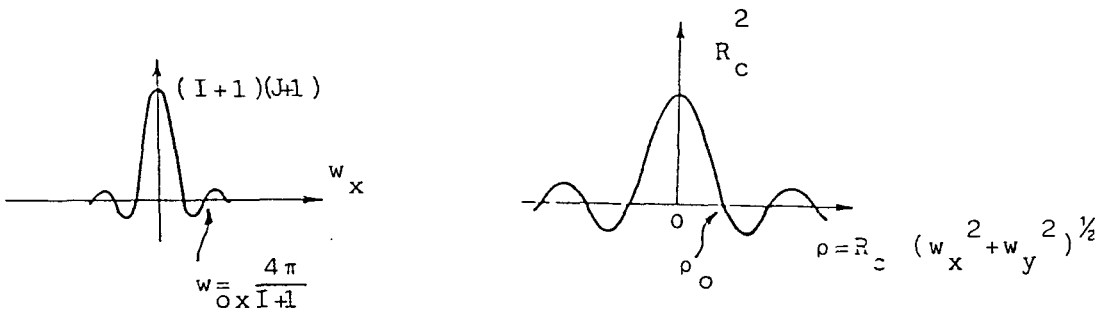
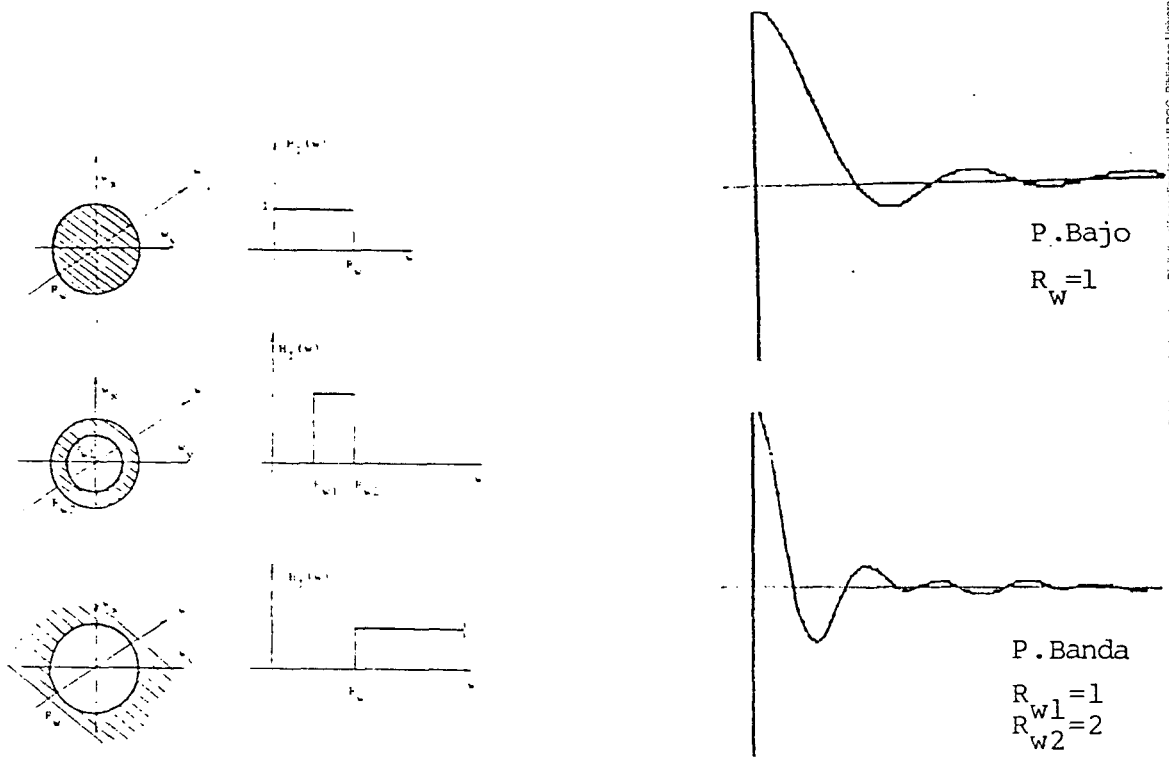


FIG. III.14. Respuesta en frecuencia obtenidas para filtros ventana rectangular y circular.



FIGS. III.15-16. Respuestas impulsionales obtenidas para filtros clásicos.

3.1.4 TRANSFORMACIONES CROMATICAS ELEMENTALES

=====

Las imágenes adquiridas contienen asociada a la luminancia la información cromática R-Y, B-Y. Las clásicas componentes R, B, G se obtienen a partir de las anteriores para cada punto por mera sustracción evaluandose la componente G según

$$f_G(x,y) = (f_Y(x,y) - 0.3f_R(x,y) - 0.11f_B(x,y)) / 0.59$$

(3.52)

Una vez sintetizadas, se pueden realizar algunas transformaciones para extraer de la imagen alguno de los parámetros que determinan ciertas sensaciones como las de tinte (relacionado con la sensación de percepción de la cualidad de color propiamente dicha) o bien la de saturación (conectada con el grado de aproximación del color a su blanco equienergético). Parece bastante reconocido [25], [80], [20] que en condiciones normales de iluminación, el ser humano sólo necesita tres de las componentes de un color para identificarlo. Ello es debido a que los pigmentos que poseen conos y bastones en una primera etapa fotoreceptora, sólo permiten adquirir la información suministrada por tres zonas del espectro. Esto nos hace pensar que los parámetros antes

mencionados, junto con la luminancia, son de gran poder discriminativo para realizar segmentaciones cromáticas. Por ello procedemos a formalizarlos y a definir algunas transformaciones en los distintos sistemas de coordenadas, que permitan computar los mismos.

De (3.52) y tomando $f_B(x,y)$ y $f_R(x,y)$ las coordenadas en el espacio normalizado r,b,g para cada punto son inmediatamente evaluables por:

$$\begin{aligned} r(x,y) &= f_R(x,y) / \sum_j f_j(x,y) \\ b(x,y) &= f_B(x,y) / \sum_j f_j(x,y) \quad ; j=R,G,B \\ g(x,y) &= f_G(x,y) / \sum_j f_j(x,y) \end{aligned} \quad (3.53)$$

Este sistema de coordenadas presenta cierto tipo de inconsistencias y anomalías analizadas por Ito [45]. Sin embargo, permite realizar algunas definiciones que posibilitan el cuantificar la saturación y el tinte empleando una medida para cada color determinado. Así, con la notación que se detalla en la figura III.17, un punto p de este espacio tridimensional, representado por sus coordenadas normalizadas (r_p, g_p, b_p) , tendrá una saturación definida por:

$$\text{SAT}(p) = \frac{WP}{WS} = \frac{((r_p - 1/3)^2 + (b_p - 1/3)^2 + (g_p - 1/3)^2)^{1/2}}{((r_s - 1/3)^2 + (b_s - 1/3)^2 + (g_s - 1/3)^2)^{1/2}} \quad (3.54)$$

$$\text{SAT}(p) = 1 - \min(r_p, g_p, b_p)$$

Esta expresión está justificada por su proximidad al blanco absoluto. Si se toma como color de referencia el rojo normalizado $(1,0,0)$, el tinte puede igualmente tener una expresión cuantitativa dada por:

$$\text{TON}(p) = \arccos \theta = \arccos \frac{(2r_p - g_p - b_p) / 6^{\frac{1}{2}}}{((r_p - 1/3)^2 + (g_p - 1/3)^2 + (b_p - 1/3)^2)^{\frac{1}{2}}}$$

(3.55)

De esta manera realizando estas operaciones locales que involucran a las tres componentes cromáticas (r, g, b) podemos encontrar las funciones $\text{SAT}(x, y)$ y $\text{TON}(x, y)$ representativas del tinte o saturación de la imagen. Con vistas a posteriores procesos de segmentación primaria, generamos el espacio cromático Y, U, V , que tiene más capacidad discriminativa que el anterior, (r, g, b) , en este sentido. Asimismo, dada las características del sistema de adquisición de imágenes, resulta particularmente interesante la codificación en estas magnitudes, ya que la información destinada a cada una de las componentes cromáticas U, V puede reducirse respecto a las que se necesitaría para describir con cierta precisión un color dado con el sistema (3.53). Las ecuaciones para pasar de uno a otro son simplemente:

$$\begin{aligned} Y &= 0.3R + 0.11B + 0.59G \\ U &= B - Y \\ V &= R - Y \end{aligned}$$

En este referencial, los planos de igual energía están representados por planos de luminancia constante. El punto de intersección de estos planos con el eje Y determinan el blanco equienergético de ese plano para todos los colores, cuyas coordenadas están en él incluidas. Esto permite definir de una forma simple la medida de la saturación como la distancia al blanco equienergético correspondiente. Con la notación especificada en la figura III.18, se tiene:

$$s(p) = \left((U_w - U_p)^2 + (V_w - V_p)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.56)$$

El tono o tinte de color puede ser definido como el ángulo que forma la proyección del vector cromático representativo del color en el plano de luminancia nula ($Y=0$), con la proyección del rojo de referencia, en dicho plano que cae sobre el eje U. Esto es:

$$t(p) = \arcsin \theta = \arcsin(U_p/V_p) \quad (3.57)$$

De ésta forma todos los colores correspondientes a los puntos de una imagen tendrán su representación en este espacio. El grupo de colores acromáticos vendrán representados por la recta $U=0, V=0$ donde se hallará toda la gama de

grises comprendida desde el blanco al negro absolutos.

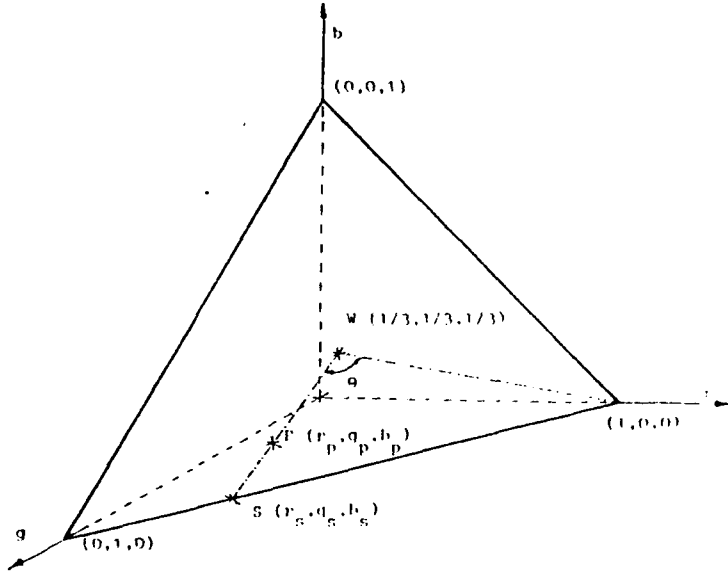


FIG. III.17. Sistema de coordenadas cromáticas (r, g, b)

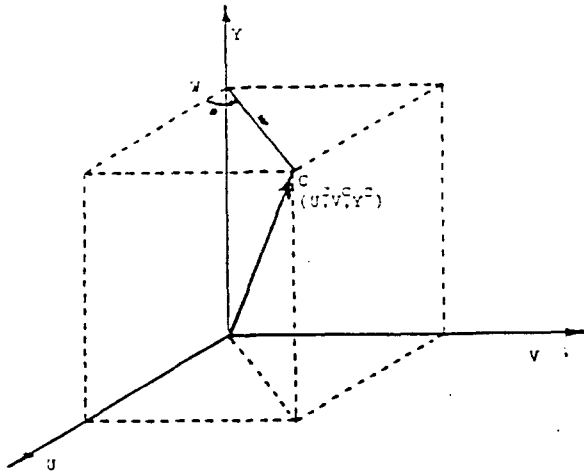


FIG. III.18. Sistema de coordenadas Y, U, V .

3.4.5 DETECTORES CROMATICOS

=====

En muchos casos, los contornos de los objetos en una escena pueden bastar para describir todo lo relevante en la imagen original. Por ello, la idea de extracción de bordes en los objetos que aparecen en una imagen ha sido ampliamente tratada en la bibliografía ([24], [59], [85]). Existen además infinidad de métodos descriptivos utilizados en reconocimiento de formas que usan el contorno por suponer un menor tiempo computacional [67], [16]. Fundamentalmente un contorno puede definirse como aquella zona de una imagen en la que se ha producido un cambio substancial en alguno de los valores cromáticos que la definen. Esta definición involucra a todo el conjunto de las coordenadas cromáticas, incluyendo la posibilidad de que se produzcan cambios en tono o saturación en zonas de la imagen de luminancia constante o viceversa. Así, dependiendo del sistema de referencia cromático elegido, es posible indicar la existencia de un borde o contorno por variación de alguno de los parámetros que definen el referencial. Para detectar estas variaciones un método socorrido es el empleo del gradiente de las funciones $f_{\alpha}(i,j)$ $\alpha=1,2,3$ o bien diferencias propiamente dichas en el campo discreto, seguidas de

operaciones no lineales que acentuen la selectividad.

En esencia, la operación de extracción de bordes en la imagen, puede sintetizarse por el procedimiento que a continuación se describe. Considérese la figura III.19 que representa espacialmente tres matrices que corresponden a cada coordenada cromática α , ($\alpha = 1, 2, 3$). Cada una de ellas contiene parte de la información de la imagen a la cual caracteriza. A cada punto (i, j) de la imagen le corresponderá un valor cromático en cada una de estas matrices. Sea $\Delta\alpha_\theta$ la componente del gradiente de la función $f(x, y)$ en una dirección dada, (siempre referible a un sistema ortonormal $(\Delta\alpha_1, \Delta\alpha_2)$), evaluables, para cada punto y coordenada cromática α , por:

$$\Delta\alpha_1 = \left| \sum_{n,m \in A_1^\alpha} f_\alpha(n, m) - \sum_{n,m \in A_4^\alpha} f_\alpha(n, m) \right|$$

$$\Delta\alpha_2 = \left| \sum_{n,m \in A_2^\alpha} f_\alpha(n, m) - \sum_{n,m \in A_3^\alpha} f_\alpha(n, m) \right|$$

Una medida del cambio $\Delta\alpha$, puede obtenerse por:

$$\Delta\alpha = (\Delta\alpha_1^2 + \Delta\alpha_2^2)^{\frac{1}{2}}$$

A continuación resulta conveniente emplear algún método no lineal local para dar mayor selectividad. Jarvis [48] propone para la detección de contornos una operación de "masking" usando el gradiente transversal de Roberts y da dos versiones de

aplicación del mismo. La primera usando una máscara de dimensiones 2x2 (FIG.III.20) calcula:

$$E = \sum_{\alpha} |a - d|_{\alpha} + |b - c|_{\alpha}$$

$$\alpha=R,G,B \quad (3.58)$$

Para cada pixel, donde a,b,c y d son los valores de las intensidades en la posición indicada. Luego somete a la imagen al proceso de umbralizado:

$$E(i,j) = \begin{matrix} 1 & ; & E \geq T \\ 0 & ; & \forall \text{ otro } E \end{matrix}$$

La segunda versión usa la misma máscara y para cada pixel evalúa las tres componentes:

$$E_{\alpha} = |a-d|_{\alpha} + |b-c|_{\alpha}$$

$$\alpha=R,G,B \quad (3.59)$$

Realizando una binarización como sigue:

$$E(i,j) = \begin{matrix} 1; & \text{Si } (E_R \geq T) \text{ .OR. } (E_B \geq T) \text{ .OR. } (E_G \geq T) \\ 0; & \forall \text{ otro caso} \end{matrix}$$

Es posible emplear otras fórmulas de computación del gradiente más elaboradas. Existe un número elevado de éstas para la componente Y de la imagen, que son ampliables a todo el conjunto de la información cromática adicional. Entre estos métodos

se encuentra el de Sobel [29]. Por extrapolación del mismo, se calcula, para cada punto (FIG.III.20) los

$\Delta\alpha$ como sigue:

$$\Delta\alpha_1 = (f_\alpha(c) + 2f_\alpha(f) + f_\alpha(i)) - (f_\alpha(a) + 2f_\alpha(d) + f_\alpha(g))$$

$$\Delta\alpha_2 = (f_\alpha(g) + 2f_\alpha(h) + f_\alpha(i)) - (f_\alpha(a) + 2f_\alpha(b) + f_\alpha(c)) \quad (3.60)$$

Para aplicarlo al caso de imágenes cromáticas sugerimos evaluar $\Delta\alpha$ como:

$$\Delta\alpha = (\Delta\alpha_1^2 + \Delta\alpha_2^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3.61)$$

Y seguir luego un proceso de binarización para obtener $g(i,j)$, (imagen de salida), por:

$$g(i,j) = \begin{cases} 1 & ; \text{ Si } \overline{1} \text{ T.OR. } \overline{2} \text{ T.OR. } \overline{3} \text{ T} \\ 0 & ; \text{ en } \forall \text{ otro caso} \end{cases}$$

Otra forma interesante de computar los cambios de intensidad en una imagen es la debida a Kirsch [85] que es aplicable a caso tridimensional cromático. El valor de $\Delta\alpha$ necesario se obtiene (FIG.III.20), por:

$$\Delta\alpha = \max(1, \max_{k=0}^7 (|5S_k - 3T_k|)) \quad (3.62)$$

donde

$$S_k = a_{k\alpha} + a_{k+1\alpha} + a_{k+2\alpha}$$

$$T_k = a_{k+3\alpha} + a_{k+4\alpha} + a_{k+5\alpha} + a_{k+6\alpha} + a_{k+7\alpha}$$

Existen otros operadores de contorno como el debido a Wallis [35], que tiene naturaleza no lineal de tipo logarítmico. Presenta la ventaja de la insensibilidad a cambios multiplicativos en el nivel lumínico, aunque tiene el inconveniente de un alto costo computacional. La imagen de salida se obtiene por generalización del método anterior, es decir, por medio de:

$$g_{\alpha}(i,j) = (1/4) \lg((f_{\alpha}(i,j))^4 / a_{1\alpha} a_{3\alpha} a_{5\alpha} a_{7\alpha}) \quad (3.63)$$

Seguido de umbral. En los casos de computación lineal seguida de no linealidad local, los Δ_{α} en cada punto son siempre evaluables por:

$$\Delta_{\alpha k}(i,j) = \sum_{n_k} \sum_{m_k} h(n,m) f_{\alpha}(i+n,j+m) \quad \begin{matrix} k=1,2 \\ \alpha=1,2,3 \end{matrix}$$

Donde los $h(n, m)$ son los factores de peso. Esto nos induce a considerar estos procesos como una operación de enmascaramiento a lo largo de toda la imagen. Los coeficientes de peso pueden ser diferentes según la componente cromática. En general, estos coeficientes son un conjunto de $I \times J \times 3 \times K$ números, donde I, J son las dimensiones de la matriz de convolución de cada componente. De manera general estas operaciones son del tipo:

$$\bar{G} = \psi(\bar{F}_i * H_{ik}) \quad \begin{matrix} k=1,2 \\ i=1,2,3 \end{matrix}$$

Donde G es la matriz bidimensional de salida, $*$ denota convolución y F_i , $i=1,2,3$ son las matrices originales que contienen la información a analizar. Las matrices de convolución H_{ik} , podrán tener el mismo o diferente valor para los posibles de I,K ; según la naturaleza del proceso de detección. La función Ψ (de naturaleza no lineal) nos posibilita acentuar la diferenciación de las propiedades extraídas del resto del contexto, facilitando así la obtención de zonas significativas de interés.

Por ejemplo un detector de bordes elemental consiste en una operación de enmascaramiento sencilla, idéntica para los tres canales de información cromática tono, brillo y saturación con un operador laplaciana lineal, de la forma:

$$\bar{H}_{ik} = \begin{vmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{vmatrix}$$

Seguido de una operación no lineal de la forma:

$$g(i,j) = \max (|g_\alpha(i,j)|) \quad \alpha=1,2,3$$

Si deseamos aplicar un método como el de Sobel para la detección de contornos, las matrices de convolución son dos para cada componente. Ello

permite obtener para cada punto, Δa_1 y Δa_2 , que posibilitan la generación de la matriz de salida según se describió anteriormente. Estas matrices de convolución responden a:

$$\bar{H}_{i1} = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 2 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad \bar{H}_{i2} = \begin{vmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{vmatrix}$$

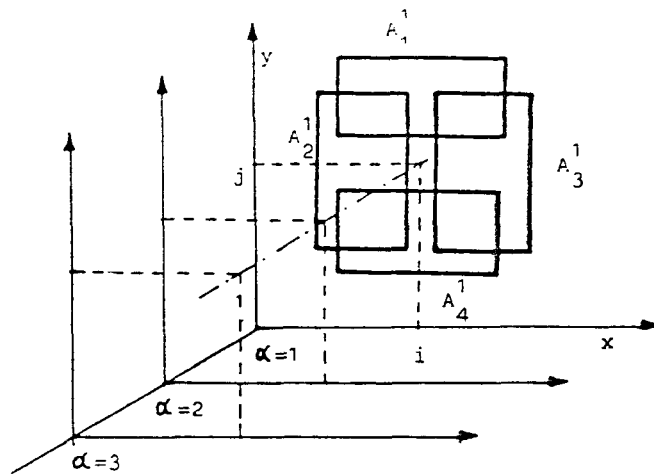


FIG. III.19. Valores empleados en el cálculo del contorno

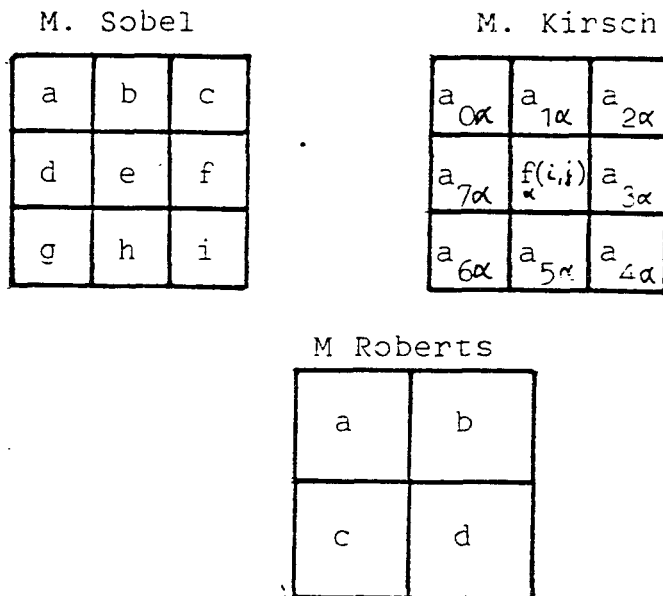


FIG. III.20. Máscaras para la evaluación del gradiente.

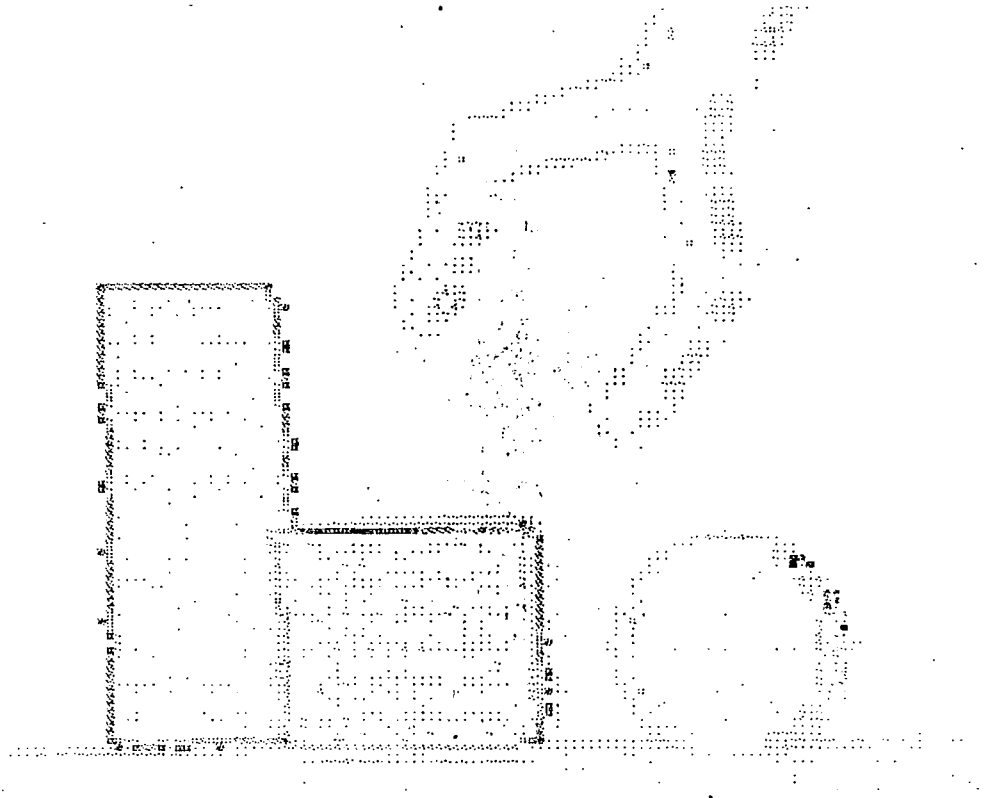


FIG. III.21. Resultado de la aplicación del operador laplaciana a la imagen cuyas componentes pueden observarse en las figuras F. y siguientes.

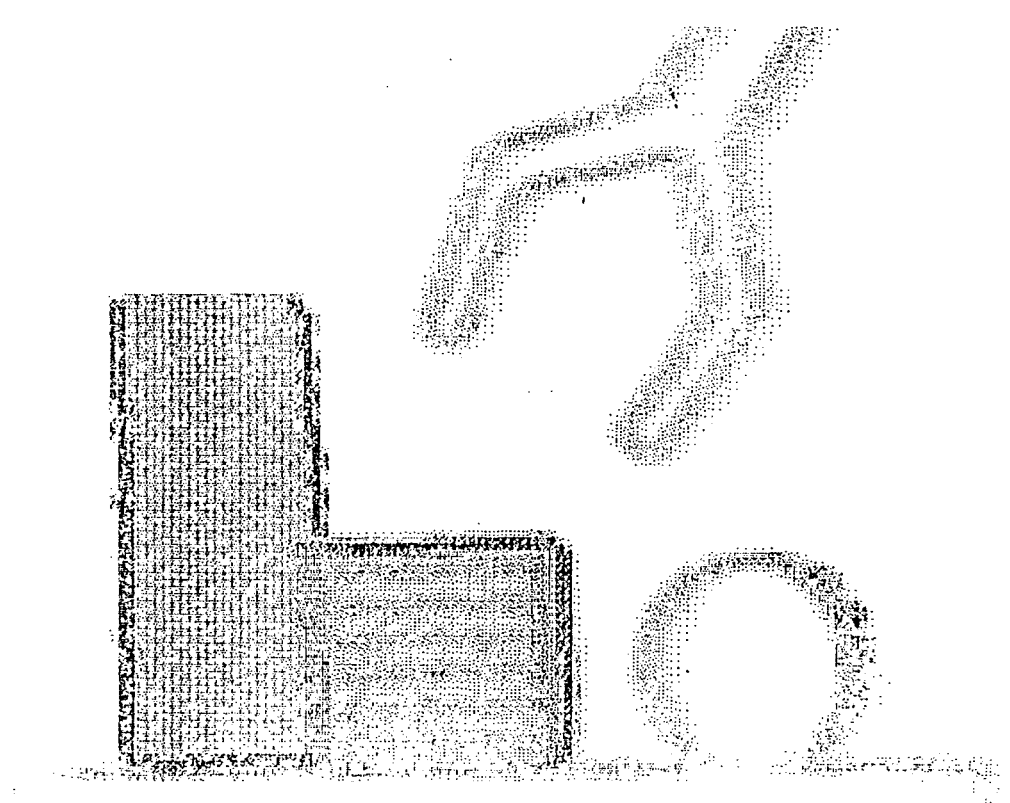


FIG. III.22. Resultado de la aplicación del método de Sobel [1].

3.4.6 TRATAMIENTO DE IMAGENES RUIDOSAS

=====

En las imágenes aparece generalmente un ruido de naturaleza aleatoria introducido por el elemento sensor, o debido a errores durante el proceso de adquisición. Es posible eliminar o atenuar dicho ruido por medio de técnicas de filtrado lineales o no lineales. En ocasiones, si no es de excesiva amplitud, puede suprimirse incluso con el empleo de filtros pasa bajo de adecuada respuesta en frecuencia, tales como los descritos en apartados anteriores. Asimismo, se pueden emplear en este caso otro tipo de técnicas lineales, como la de "average", que consiste en asignar a la función de salida en cada punto (n,m) , el valor medio de la función de entrada dentro de una cierta área centrada en el punto en cuestión. Es decir:

$$g(n,m) = \frac{1}{4KL} \sum_{i=-K}^K \sum_{j=-L}^L f(n+i,m+j) = \bar{f}(n,m) \quad (3.64)$$

El punto central puede omitirse en la operación. Sin embargo, este tipo de tratamiento suele producir, al igual que el empleo de filtros paso bajo ideales, un desenfoque de la imagen, ya que se pierden bastantes componentes de alta frecuencia, y se

difunden los bordes y los contornos de las formas presentes. Por ello resulta de interés recurrir en estos casos a filtros o procesos no lineales, que permiten un tratamiento más efectivo del ruido, alguno de los cuales describimos a continuación.

Un tipo de proceso que en ocasiones es aplicable (si el ruido adicional tiene naturaleza impulsiva) es el de average no lineal. Este tratamiento descrito por varios autores [51], [55] para imágenes monocromáticas, consiste en evaluar la función $f(n,m)$, para cada punto de la imagen, como se indicó en (3.64), seguida de umbralización; es decir:

$$g(n,m) = \begin{cases} \bar{f}(n,m) & \text{si } f(n,m) \geq U \\ f(n,m) & \text{en } \forall \text{ otro caso} \end{cases}$$

Esta operación permite eliminar el ruido de naturaleza impulsiva presente en las zonas de la imagen que tengan valores continuos. El valor de U está condicionado por la relación señal/ruido deseada y suele tomarse entre un 50 % y un 60 % aproximadamente.

Otro tipo de filtrado no lineal muy adecuado para suprimir el ruido es el filtro mediana. Originalmente el filtro mediana fue sugerido por

Tukey [17] como herramienta en el análisis de series temporales, siendo más tarde aplicado en técnicas de proceso de imágenes [25]. Consiste en el barrido, sobre los puntos de una imagen de una ventana, A, de tamaño dado, y remplazar el valor central de la misma por la mediana de los valores originales. En general se obtiene un suavizamiento de la imagen. Como ya se indicó, los filtros pasa-bajo espaciales son en bastantes ocasiones útiles para conseguir efectos parecidos, atenuando ruidos de carácter impulsivo. Pero los filtros mediana presentan la ventaja de preservar bordes y ser muy efectivos para la eliminación de ruido de naturaleza no uniforme. Definimos un filtro mediana bidimensional de ventana A en una imagen $f(n,m)$ como:

$$g(n,m) = \underset{A}{\text{Mediana}} f(n,m) = \underset{A}{\text{Mediana}} (f(n+i,m+j)); (i,j) \in A \quad (3.65)$$

Es decir se calcula, para cada punto, la mediana del entorno contenido en A. Del estudio de los filtros mediana se deducen propiedades interesantes, como las de preservar flancos y contornos [20],[21],[22]. El empleo de los filtros mediana para la supresión de ruido fue estudiado cualitativamente por Pratt [25], pero el hecho de la existencia de una transformación no lineal de la índole de (3.65),

dificulta su expresión cuantitativa. Sin embargo pueden deducirse algunas interesantes conclusiones si se supone que los valores de señal Z_i ($i=1\dots n$) de cada punto de una imagen son independientes y están idénticamente distribuidos con media μ , es decir:

$$Z = \mu + w \quad (3.66)$$

Donde $E[w]=0$ y $E[Z]=\mu$. Usaremos para ello la función de distribución de las variables Z , $F(Z)$. Se puede demostrar [50] que la función densidad $g(Y)$ de la función $Y=\text{mediana}(Z_1,\dots,Z_n)$ viene dada por:

$$g(y) = n \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right) \Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} F'(y) F(y)^{(n-1)/2} (1-F(y))^{(n-1)/2} \quad (3.67)$$

Resulta que, para valores altos de n , la distribución es aproximadamente normal $N(\tilde{\mu}, \sigma_n)$, donde $\tilde{\mu}$ es una media teórica determinada a partir de $F(\tilde{\mu})=0.5$ y donde σ_n está definida por:

$$\sigma_n = 1/(n4f^2(\tilde{\mu})) \cong \text{var}(y) \quad (3.68)$$

Si las variables Z_i son independientes, e idéntica y uniformemente distribuidas en el intervalo $(0,1)$, la varianza de la función Y se calcula exactamente por la expresión (3.67)

$$\text{var } (\bar{y}) = 1/4 (n+2) \quad (3.69)$$

En el caso de que las variables sean independientes y distribuidas con $N(\mu, \sigma^2)$, $\tilde{\mu}_i = \mu$ y la varianza deben determinarse por integración a partir de (3.67). En [108] se da una expresión que reproduce con bastante precisión, para n impar, la varianza:

$$\text{var } (\bar{y}) = \frac{1}{2} \sigma^2 \pi / (n + \pi/2 - 1) \quad (3.70)$$

Para el caso de variables independientes e idénticamente distribuidas pueden compararse las opciones de procesamiento por filtro mediana y average lineal. Para esta última, la varianza es σ^2/n mientras que la ecuación (3.70) nos indica que la de la distribución de la función mediana resulta ser aproximadamente un 57% mayor. Ello indica que un proceso average suprime el ruido blanco con distribución normal con más efectividad que un filtro mediana con la misma ventana. La aplicación de un filtro mediana puede verse en la figura III.23. Se observa como la acción de un filtro de este tipo respeta los bordes.

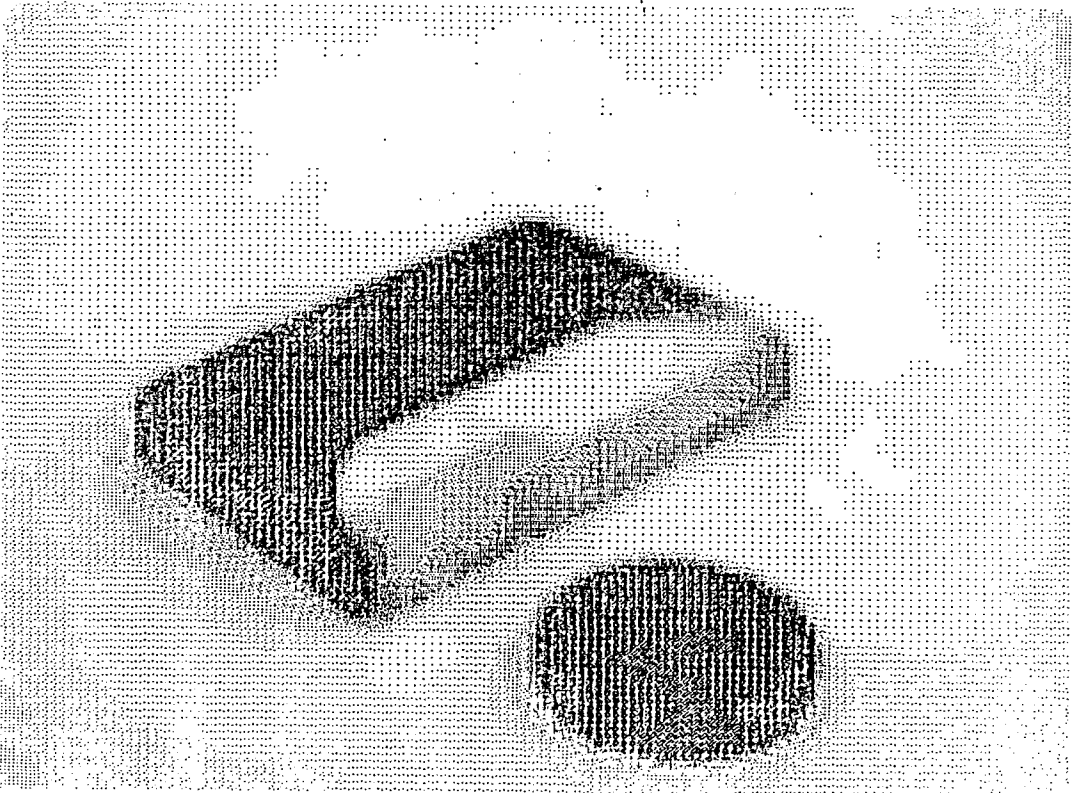
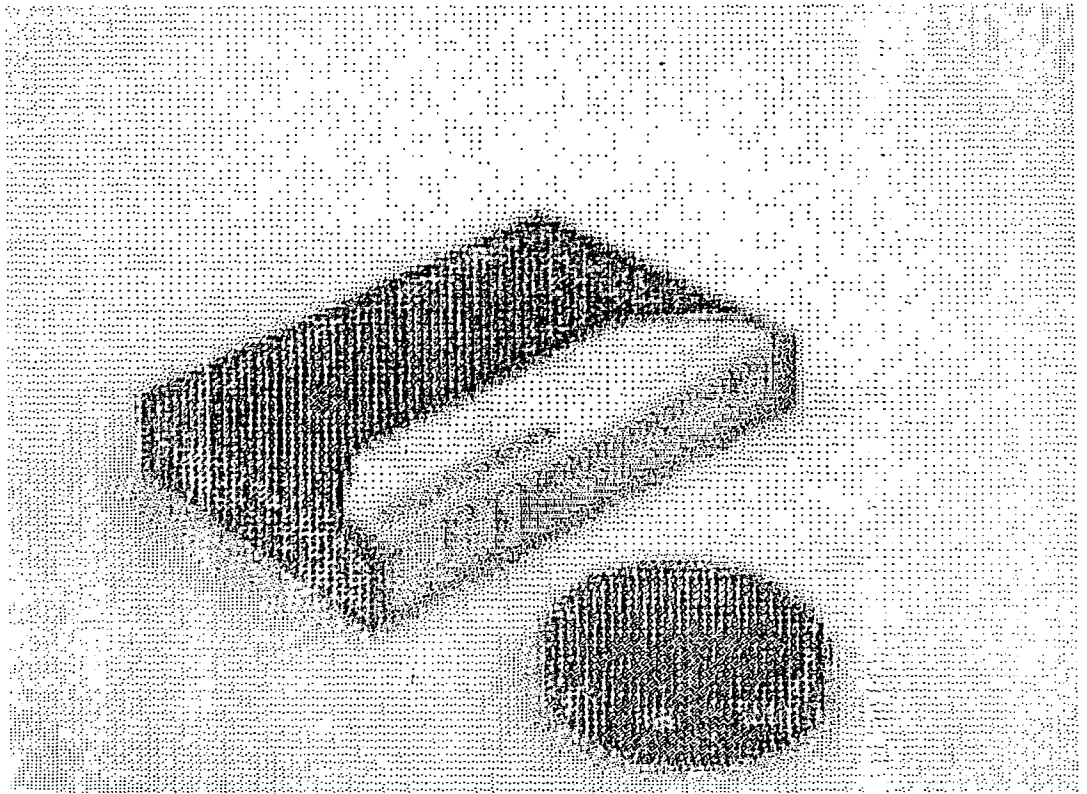


FIG. III.23. Resultado de la aplicación de un filtro mediana.

3.2 SEGMENTACION

=====

3.2.1 DEFINICION Y APLICACIONES PRIMARIAS

=====

El término segmentación ha sido ampliamente usado con muchas acepciones, y posee distinto significado según los autores. Aquí nos referiremos a la operación de analizar una escena compuesta por objetos sobre un cierto fondo, dividiendo la imagen en diferentes partes cada una de las cuales posee significado propio para el observador. En todos aquellos problemas en los que se precise reconocer algunas de las partes de una escena, (como pueden ser textos escritos, escenas industriales, fotografías aéreas, ect.), es necesario previamente segmentar la imagen en este conjunto de sus partes. Así para identificar un carácter de un texto, primero es preciso aislarlo del entorno del mismo; para reconocer una pieza en un sistema industrial de visión con manipuladores es necesaria separarla primero del contexto adjunto a la misma ect..

El problema general que se plantea es más bien de percepción y no admite soluciones analíticas sencillas, aunque para determinados tipos de imágenes

puedan encontrarse soluciones de tipo heurístico. Intuitivamente podemos subdividir una imagen en regiones que posean una cierta uniformidad en un amplio sentido. Por ejemplo, el problema de la separación del fondo de la imagen del conjunto de objetos por niveles de gris [95], las operaciones de gradiente para la extracción de bordes tratadas en temas anteriores y las de enmascaramiento que veremos más adelante pueden incluirse dentro de este concepto [87].

Para la formalización de la idea general, Horowitz y Pavdilis [40],[8].] han establecido una definición del término segmentación ampliamente aceptada [60] y que puede enunciarse como sigue:

"Sea una función imagen $f(x,y)$, definida en un cierto dominio Z y sea S un subconjunto de Z que contiene al menos 2 puntos. Se define un predicado lógico de uniformidad $P(S)$ el cual asigna el valor de verdadero o falso a S dependiendo sólo de la función $f(x,y)$ en S . Una segmentación en Z por un predicado P es una partición de Z en n subconjuntos disjuntos S_1, \dots, S_n , de manera que cumplan las siguientes propiedades:

$$1. \bigcup_{i=1}^n S_i = Z$$

2. $P(S_i) = \text{verdadero}$ para todo i . En cada subconjunto S_i , el predicado $P(S_i)$ es cierto.

3. $S_i \cap S_j = \emptyset$ para todo i distinto de j .

4. $P(S_i, S_j) = \text{Falso}$ para todo $i = j$; P es falso en la unión de algún número de miembros adyacentes de la partición. "

De esta manera resulta que predicados como los siguientes, definidos en Z , son particiones:

" $P_1(S) = \text{Verdadero}$, si el valor de intensidad luminosa dado por $f_i(x, y)$ en cualquier punto de S es el mismo".

" $P_2(S) = \text{Verdadero}$ si el tinte de color en cualquier punto de S es el mismo".

" $P_3(S) = \text{Verdadero}$ si el valor de intensidad en dos puntos de S no difieren en más de una cantidad dada ΔI ".

La segmentación puede ser considerada como un tipo especial de "clustering" [87],[37] en el cual

algunas medidas corresponden a localizaciones espaciales. Por "clustering" se entiende el agrupamiento en un conjunto de medidas $\{\bar{\theta}\}$, donde el vector medida $\bar{\theta} = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ representa las propiedades de un cierto conjunto de formas. En contraste con el problema de clasificación supervisada, los vectores muestra no están etiquetados. En éste caso, el proceso de "clustering" es una forma de aprendizaje no supervisado, que consiste en determinar el número de clusters y el grupo al cual pertenecen las muestras.

El abordar el problema de segmentación como un caso particular de "clustering" permite usar aunque con cierta precaución, las técnicas matemáticas desarrolladas para la solución de problemas en éste último campo [37]. Algunas operaciones de segmentación pueden ser aplicadas directamente a la imagen. Entre éstas se encuentran las de segmentación a través de histogramas aislando objetos y fondo, que puede plantearse desde el punto de vista de "clustering", tomando como vector medida

$$\bar{\theta} = | \theta_1 | = | f | \quad (3.71)$$

Como criterio o medida de disimilaridad se toma

la distancia euclídea a dos puntos fijos en el histograma (FIG.III.25), que son representativos del fondo y objetos respectivamente. Si realizamos previamente una normalización de $f(x,y)$, dada por:

$$d_1 (X, X_1) = | (f-f_1) | ; d_0 (X, X_0) = | (f-f_0) |$$

Esta ecuación proporciona una medida relativa para clasificar el punto. Evidentemente, procesos selectivos de umbral resultantes de ajustar el histograma a un conjunto de gaussianas o a un polinomio de cuarto orden conducirán a resultados más rápidos y fiables para estos primeros pasos en la segmentación. Al aplicar este método a la figura III.28 obtenemos como resultado en dos niveles la imagen que se corresponde con la figura III.29.

El segundo paso en la segmentación consiste en aislar las diferentes partes de la escena. Es posible aplicar técnicas que utilicen predicados como el P(S) anteriormente enunciado. El algoritmo desarrollado para tal aplicación puede observarse en la figura III.26, donde por continuidad, se aíslan los distintos objetos que intervienen en la escena. La imagen es procesada por filas, de manera que un punto determinado de la imagen es en principio un nuevo cluster si no existe a priori ninguno contiguo

con él. En el caso de que lo hubiera se agragara a este y no se generara uno nuevo. En el caso de no existir conexidad con ningún cluster vecino, este punto creará un nuevo cluster, al cual pueden agregarse futuros puntos. Los resultados del método usando el predicado de uniformidad pueden observarse en las figuras III.30 y siguientes, donde se muestran las distintas partes a que da lugar el método descrito. Un nuevo ejemplo de aplicación se detalla en las figuras III.31a, y siguientes.

También es posible aplicar técnicas de segmentación primarias a imágenes cromáticas usando predicados del tipo $P3(S)$ directamente sobre la imagen original de manera que aislemos zonas que posean valores cromáticos muy cercanos. La dificultad práctica de este sistema reside en la gran influencia que ejerce el tipo y forma de la iluminación sobre las distintas componentes de color, pues brillos y reflejos en la imagen enmascaran la información realmente significativa. Sin embargo, a niveles muy simples, pueden ensayarse métodos que faciliten el aislamiento de las zonas cromáticas. El método empleado, cuyo algoritmo puede verse en la figura III.27, es de tipo heurístico, y se basa en detectar las zonas de máxima aglomeración de puntos, en el plano $Y=0$ ($B-Y$ Vs. $R-Y$), y separar las mismas

sin tener en cuenta la saturación. Esto es, sólo se considera al ángulo que forman con el origen, prescindiendo de (cluster 0), donde se encuentran los grises acromáticos de la imagen. Aplicando el método para la imagen cuyas componentes están en las figuras III.32, y siguientes se obtienen las proyecciones aglomerativas sobre el plano de referencia que se muestran en la figura III.33, Los resultados del proceso de aislamiento para los clusters 0,1,2,3 se muestran en las figuras III.34-(a,b,c,d). Para separar los objetos acromáticos, definidos por el cluster 0, recurrimos al aislamiento por umbralizado, con elección del umbral en términos del histograma de grises correspondiente (FIG. III.35). El resultado se muestra en la figura III.36.

Con la excepción de técnicas tales como las de umbralizado o gradiente, los algoritmos desarrollados en segmentación, como se ha visto en los ejemplos citados, requieren en primer lugar, comparar cada punto con su entorno. Esto lleva a plantear el problema de como estructurar los datos de forma que facilite la comparación. A continuación exponemos las estructuras de datos más usadas en procesos de segmentación, así como sus ventajas e inconvenientes.

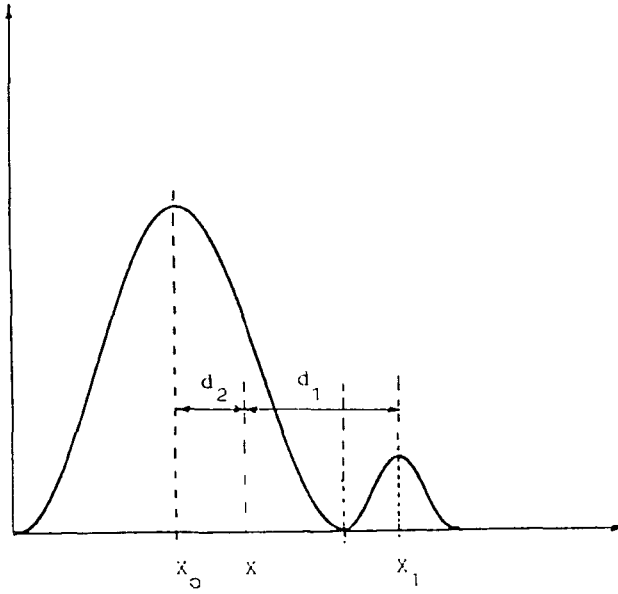


FIG. III.25. Clustering mediante histogramas.

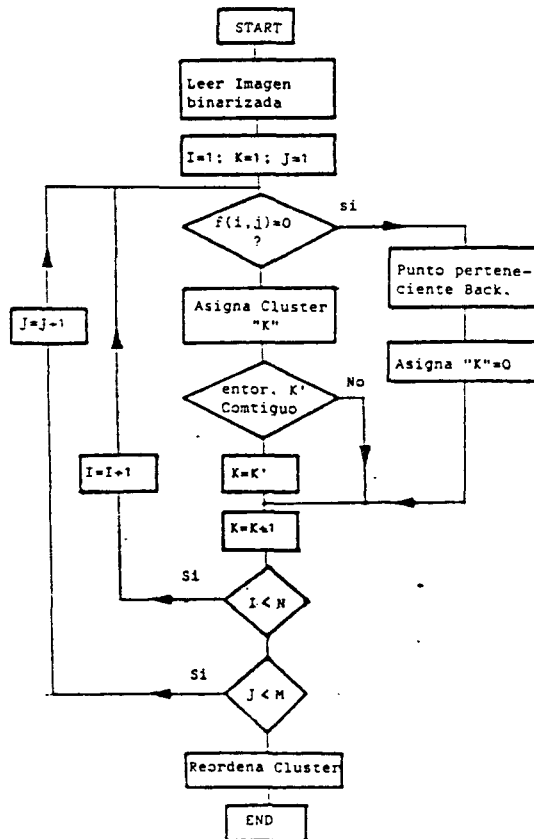


FIG. III.26. Organigrama Algoritmo

Regiones-Conexas.

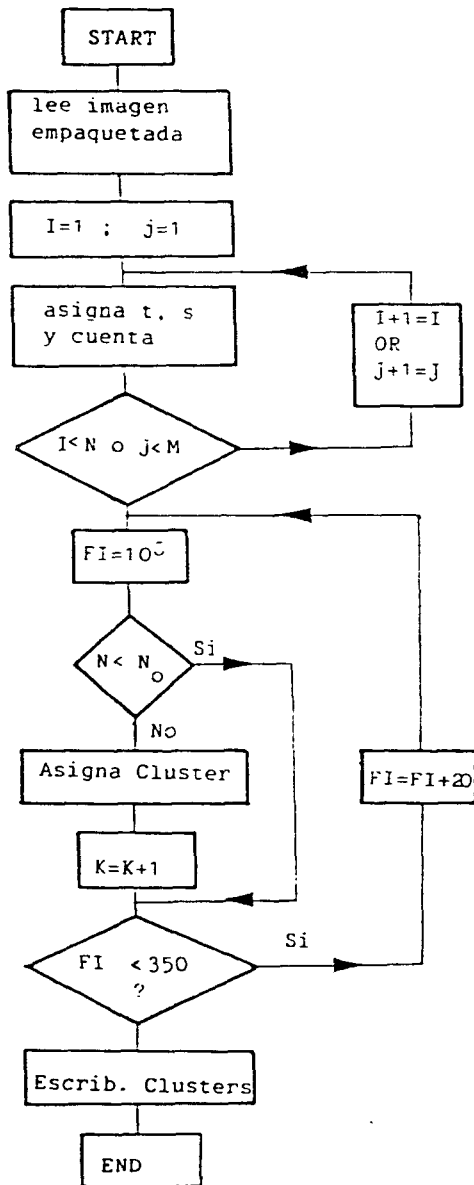


FIG. III.27. Organigrama Algoritmo Regiones-Cromáticas.

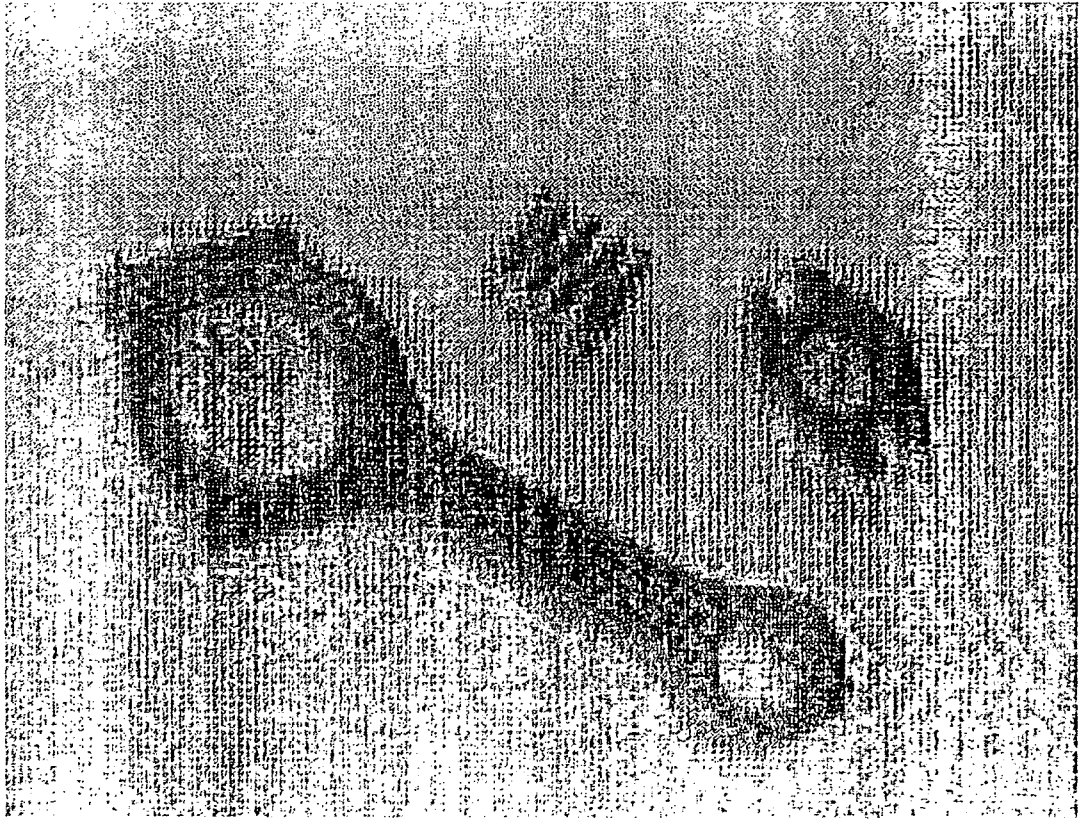


FIG. III.28. Imagen original a Segmentar

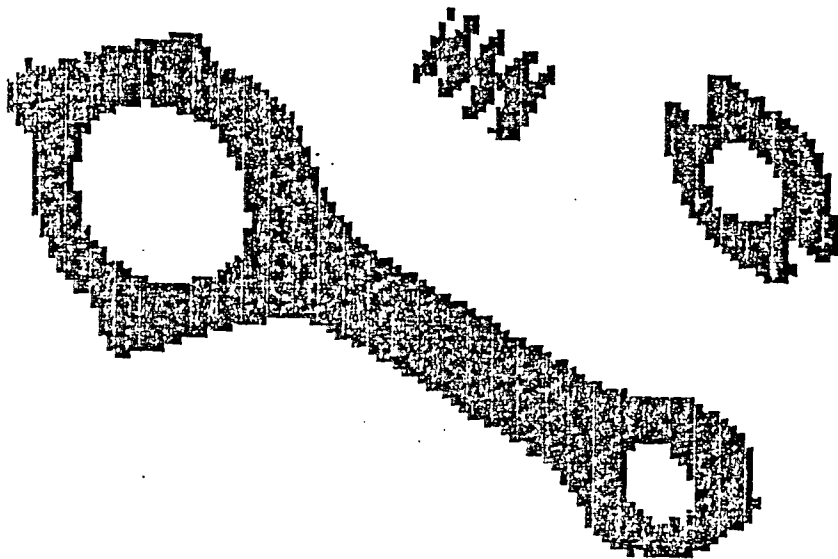


FIG. III.29. Resultado segmentación tipo umbral



FIG. III.30a.

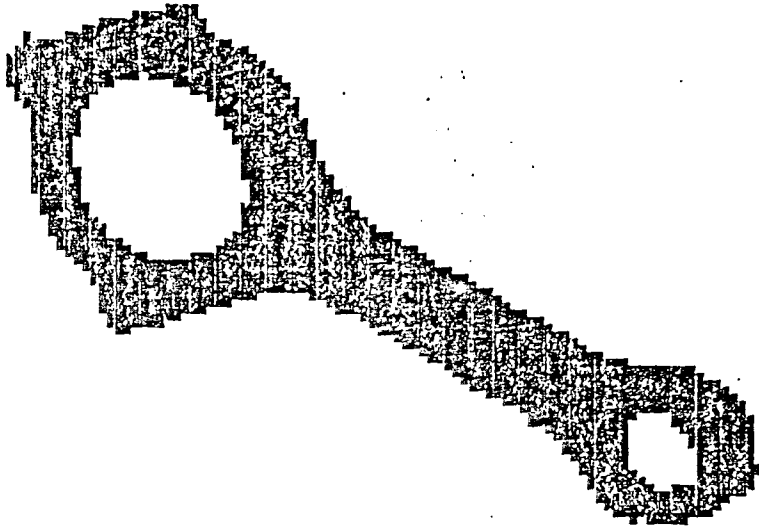


FIG. III.30b.



FIG. III.30c.

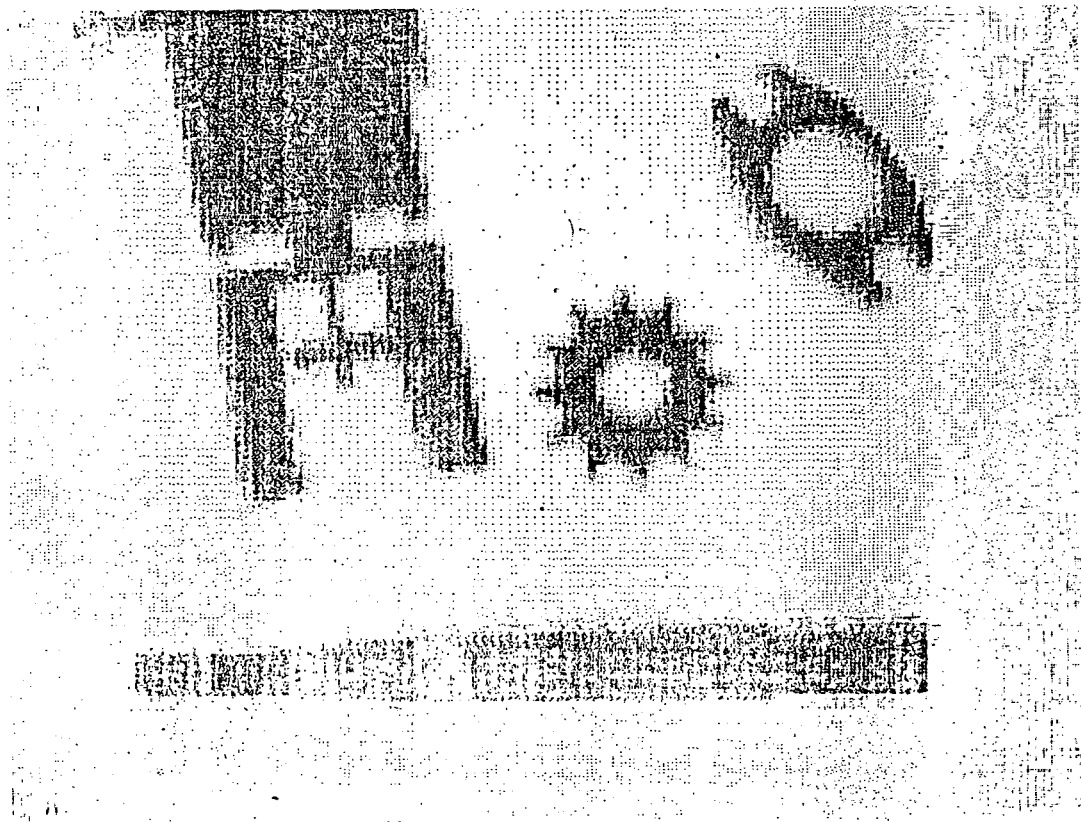


FIG. III.31a. Imagen Original a Segmentar.

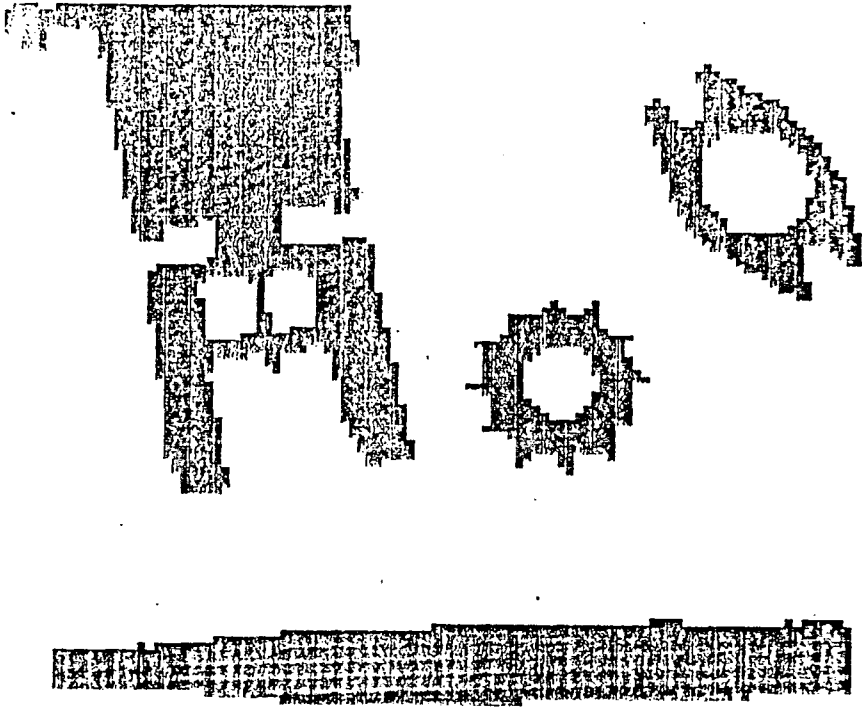


FIG. III.31b. Segmentación tipo Umbral.

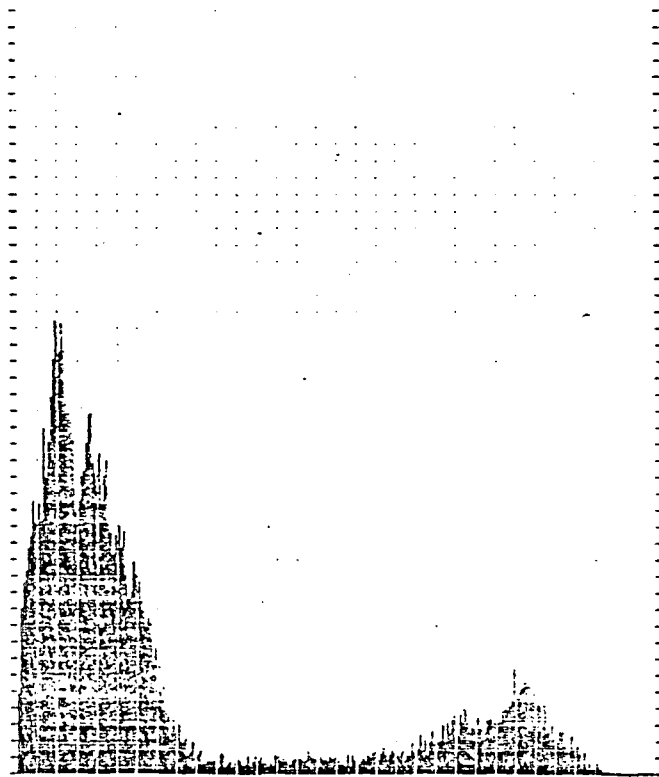


FIG. III.31c.

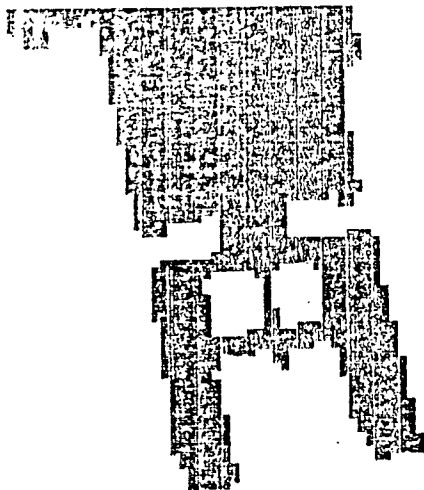


FIG. III.31d.



FIG. III.31e.

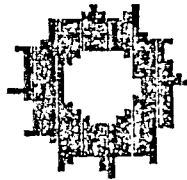


FIG. III.31f.

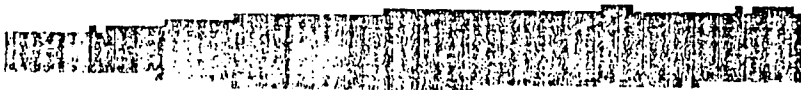


FIG. III.31g.

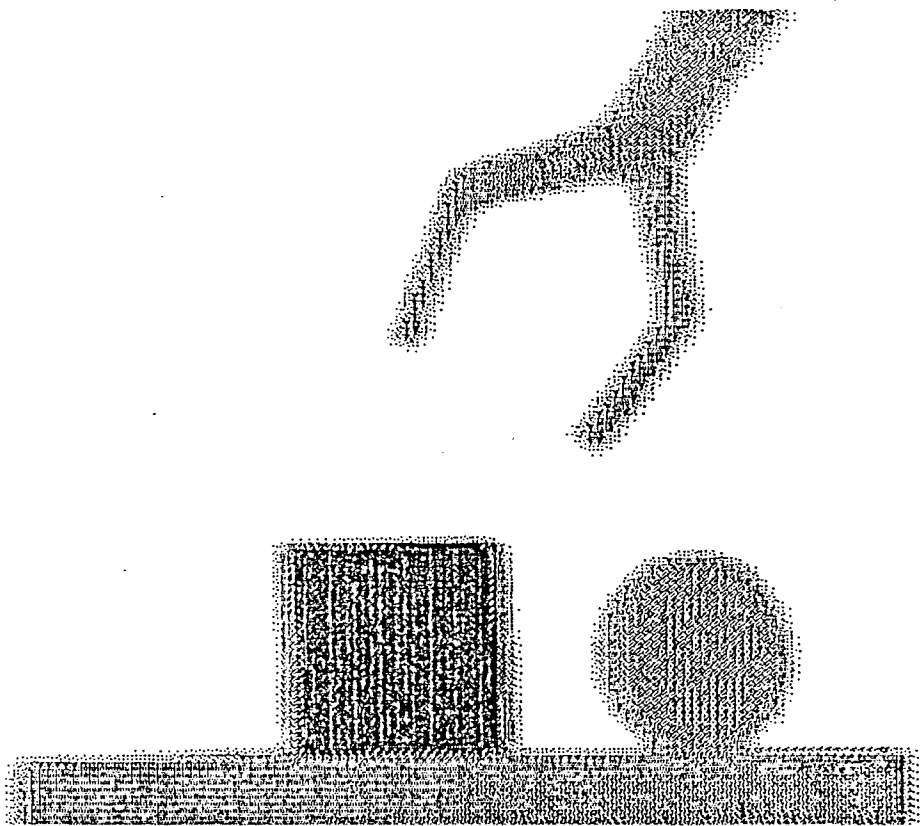


FIG. III.32a. Componente Y Imagen Ejemplo.

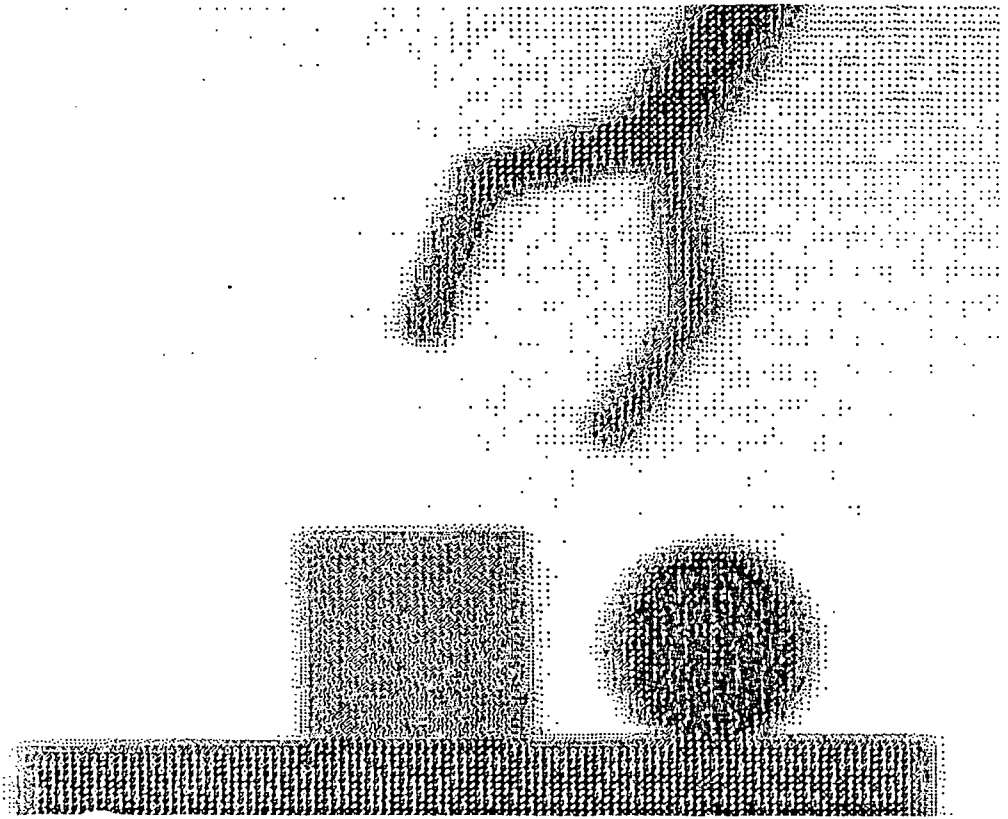


FIG. III.32b. Componente R Imagen Ejemplo.

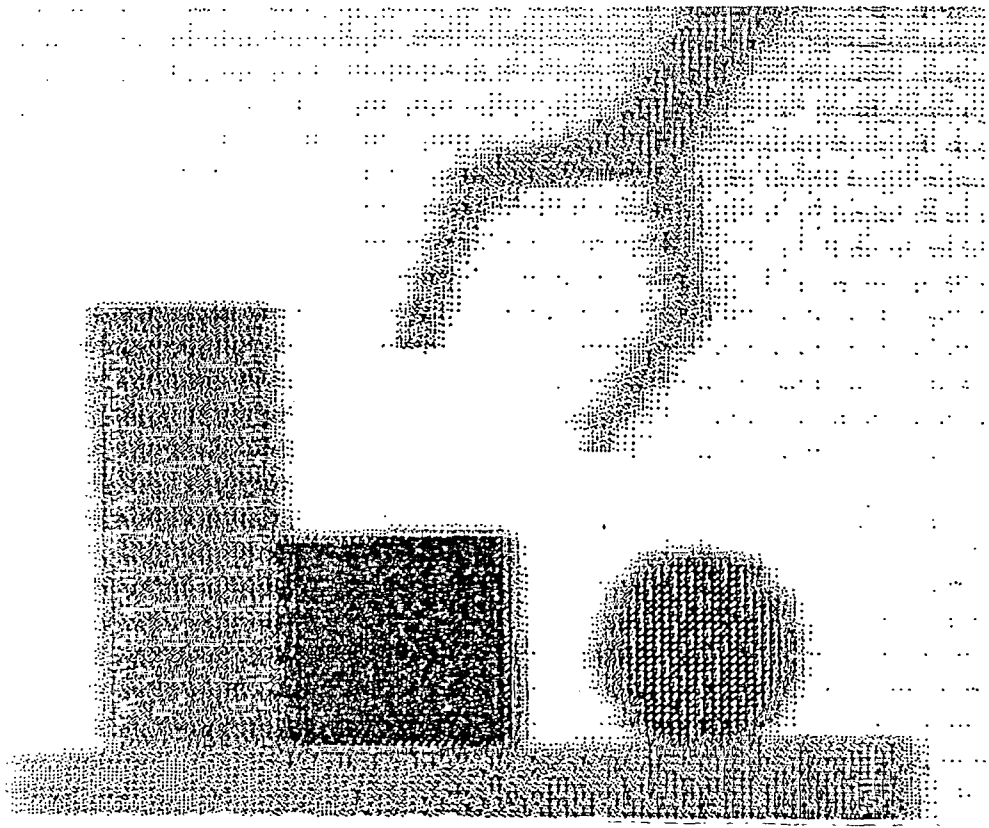


FIG. III.32c. Componente B Imagen Ejemplo.

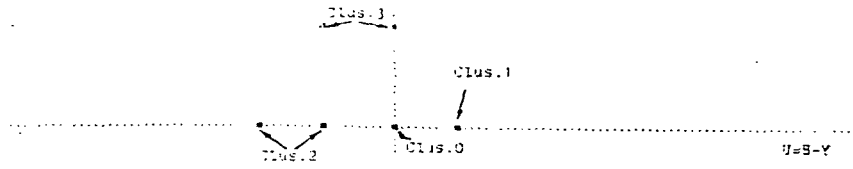


FIG. III.33. Clustering en el plano $Y=0$.



FIG. III.34a. Cluster num. 1.



FIG. III.34b. Cluster num. 2.

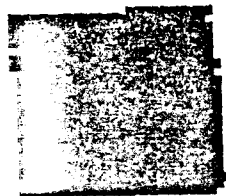


FIG. III.34c. Cluster num. 3.

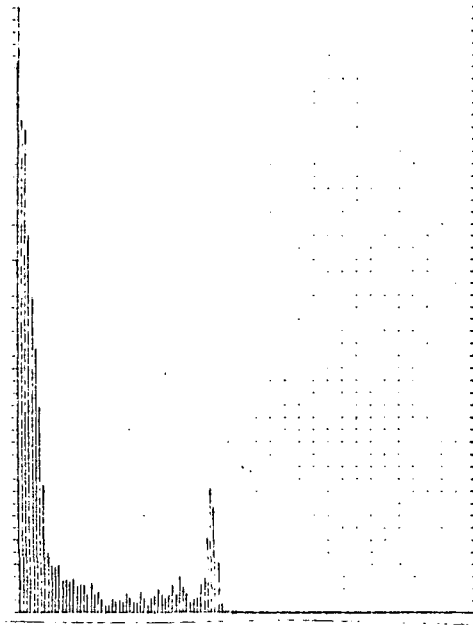


FIG. III.35. Histograma grises Cluster num. 0.



FIG. III.36. Objeto relevante Cluster 0.

3.3.2 ESTRUCTURAS DE DATOS

=====

3.2.2.1 GRAFO DE REGIONES ADYACENTES

=====

Un grafo G consiste en un conjunto A de nodos asociados a otro conjunto B , cuyos miembros denominados ramas son parejas de nodos no ordenados de A . Dentro del grafo, dos nodos de A se dicen que son adyacentes si la rama entre ellos es la misma y se llama grado del nodo al número de ramas que inciden sobre él. Un grafo de regiones adyacentes es un clásico grafo en el cual a cada región de una imagen se le hace corresponder un nodo y las ramas que unen los nodos representan regiones adyacentes a la misma.

En general cualquier tipo de predicado definido como se indicó en el apartado anterior, origina en la imagen segmentaciones descriptibles por grafos de regiones adyacentes. Estos grafos han sido utilizados en formas muy diversas en algoritmos de segmentación sobre todo como etapa final de ésta y a un nivel alto de abstracción, pues existen algunas propiedades de la imagen que pueden ser deducidas de la topología del mismo. Por ejemplo, si observamos la figura

III.37, los nodos de grado uno corresponden a regiones cerradas, esto es a regiones que se encuentran completamente rodeadas por otras. Así mismo, y como consecuencia de la definición de adyacencia, resulta que un grafo de regiones adyacentes es siempre planar, pues no existe intersección entre las distintas ramas de este cuando se aplica a imágenes. También puede observarse que las regiones cerradas se corresponden con los puntos de articulación, esto es, con aquellos puntos, N , tales que existen otros, L, M , de manera que todos los caminos posibles de L a M pasan a través de N . Si asignamos la imagen global al nodo cero, resultará que podemos definir las regiones cerradas como puntos de articulación del grafo de regiones adyacentes. Resulta particularmente útil que aquellos nodos que posean un grado elevado, (es decir aquellos que correspondan a regiones que tengan un grado de adyacencia considerable), pueden absorber otros cercanos, (de acuerdo con su área), que posean un grado bajo, eliminando así el excesivo número de regiones que aparecen muchas veces en el proceso de segmentación.

3.2.2.2 PIRAMIDES Y ARBOLES

=====

La estructura de árbol es un grafo donde las relaciones de inclusión son más importantes que relaciones de adyacencia. Su raíz corresponde a la imagen y sus extremos a pixels sencillos. El hijo de cada nodo A representa regiones que forman una partición de la región correspondiente. A menudo se suele construir dividiendo cada región en cuatro partes iguales de manera que si la imagen original posee dimensiones $N \times N$ donde $N=2^L$, el árbol tiene L niveles. A este tipo especial de árboles se les denomina "Quartic Picture Tree" (QPT) y han sido usadas en paginación y proceso de imágenes [105],[106],[55]. Una propiedad muy interesante de los QTP es consecuencia de la definición de corte en un árbol [81]. El corte se establece como un subconjunto de nodos de un árbol, que posee las propiedades siguientes:

a) No existen dos nodos en el mismo camino desde la raíz a los extremos.

b) No pueden añadirse más nodos a este sin que pierda la propiedad anterior.

De esta definición de corte resulta que una segmentación es un corte del QPT.

En lo referente a la estructura de pirámide existen, para la mayoría de los autores dos definiciones de la misma, que se dan a continuación:

Pirámide-M

Es una secuencia de L imágenes (expresadas en forma matricial), $\{M(L), M(L-1), \dots, M(0)\}$ donde $M(L)$ representa la imagen original, y $M(i)$ representa una versión reducida de $M(i-1)$ a mitad de resolución, ect.. $M(0)$ es un pixel.

Pirámide-T

Es un conjunto de P nodos $=\{(K,i,j)\}$ tal que $0 \leq k \leq L$ y $0 \leq i \leq 2^{L-k}-1, 0 \leq j \leq 2^{L-k}-1$ } junto con una relación binaria F definida en P con $F(K,i,j) = (K-1, [i/2], [j/2])$ y una función V de P sobre R donde R es un rango de valores tal como $\{0,1,2, \dots, 255\}$. Aquí $[x]$ representa el mayor entero menor o igual a x . Los P nodos de una pirámide-T se corresponden con los pixels de una pirámide-M y el conjunto $(K,*,*)$ se

corresponde a las matrices individuales de una pirámide $-M$, a estos conjuntos o matrices se les denomina niveles de la pirámide. F es el padre, función definida para todos los nodos P excepto para $(0,0,0)$ el cual es la raíz de la pirámide T . Cada nodo P , excepto los del nivel L , tienen 4 hijos los cuales son p nodos q tal que $F(q)=p$. Una pirámide T es muy similar a un QPT pero difieren en un aspecto importante [106], las pirámides- T son árboles balanceados en casos donde los QTP necesitan no serlo. Además la interpretación que se le da a los árboles es diferente en cada caso.

Comunmente una pirámide- T se construye a partir de la matriz $A(i,j)$ representativa de la imagen original por una regla de tipo average:

$$V(k,i,j) = \frac{1}{4} \sum_{\substack{x=0,1 \\ y=0,1}} V(k+1, 2i+x, 2j+y) ; \text{ para } k < L$$

(3.72)

$$A(i,j) , \text{ para } k=L$$

Se generan así imágenes de inferior resolución, donde se aplican métodos de búsqueda y aislamiento tanto en sentido creciente como decreciente. Sin embargo, por esta clase de estructuras, en las imágenes de diferente resolución producidas, aparecen ciertos errores que deterioran la calidad del método de segmentación que se emplee a partir de ellas. El

proceso de crear una imagen en el K-esimo nivel es equivalente a la acción de un filtro espacial paso bajo de la imagen situada en el nivel (k-1), seguida de un muestreo realizado a la mitad de velocidad del nivel k-1 (FIG.III.38) Esto es la función de muestreo puede ser representada por:

$$M(x,y) = \sum_{j_1=-\infty}^{\infty} \sum_{j_2=-\infty}^{\infty} \delta(x-j_1 2 \Delta x, Y-j_2 2 \Delta Y)$$

Cuyo espectro de Fourier es:

$$M(w_x, w_y) = (\pi^2 / \Delta x \Delta Y) \sum_{j_1=-\infty}^{\infty} \sum_{j_2=-\infty}^{\infty} (\delta(w_x - (2\pi j_1 / 2 \Delta x), (w_y - 2\pi j_2 / 2 \Delta Y))$$

Si el filtro paso bajo es ideal, aparecen espúreos de baja frecuencia espacial como consecuencia del efecto de Aliasing. En el dominio de frecuencias, la salida $A_0(w_x, w_y)$ viene dada por:

$$A_0(w_x, w_y) = A_{k-1}(w_x, w_y) H(w_x, w_y)$$

Y el espectro de Fourier de la señal muestreada es:

$$A_k(w_x, w_y) = (\pi^2 / \Delta x \Delta Y) A_{k-1}(w_x - \pi j_1 / \Delta x, w_y - \pi j_2 / \Delta Y) H(w_x - \pi j_1 / \Delta x, w_y - \pi j_2 / \Delta Y)$$

El filtro paso-bajo que se efectua en la estructura jerárquica como se desprende de (3.72) es

:

$$\frac{1}{4} \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}$$

Que es aproximable, para $n=4$, a una función de la forma:

$$H(w_x, w_y) = (\cos(w_x/2) \cos(w_y/2))^n$$

n está determinado por la frecuencia de atenuación más alta del filtro. Esta clase de filtros ha sido estudiada por Hall, ... y resulta que para $n=1$, una considerable cantidad de energía de alta frecuencia pasa a través del filtro, resultando un error de aliasing elevado. Para $n=8$ la energía de alta frecuencia se ve atenuada obteniéndose como consecuencia errores pequeños. Para $n=4$, caso que nos ocupa, el término de error, computado por

$$E_A = \frac{\int_{-0.5}^{0.5} \int_{-0.5}^{0.5} (\cos \pi w_x \cos \pi w_y)^n dw_x dw_y}{\int_{-0.25}^{0.25} \int_{-0.25}^{0.25} (\cos \pi w_x \cos \pi w_y) dw_x dw_y}$$

no resulta ser excesivamente elevado.

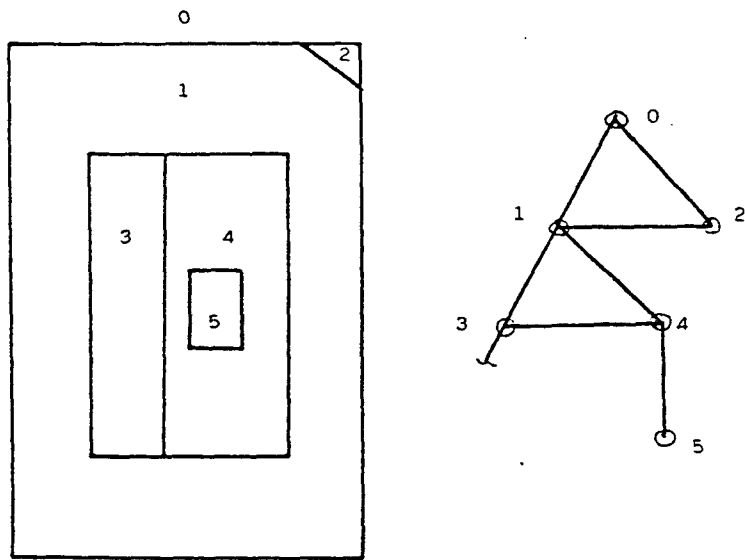


FIG. III.37. Grafo de regiones adyacentes.

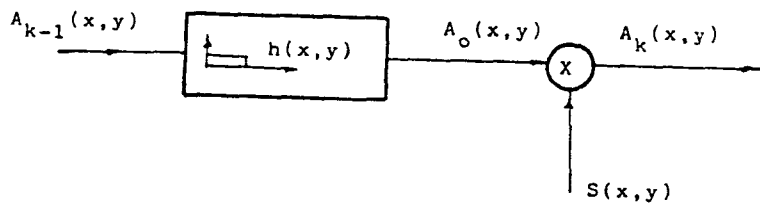


FIG. III.38. Generación de la imagen correspondiente al nivel K a partir de la del K-1.

3.2.3 SEGMENTACION JERARQUICA

=====

Durante el proceso de segmentación de un conjunto de datos en el que hay una estructura espacial a priori resulta particularmente interesante realizar las operaciones de asignación en base a una cierta jerarquía. Se pueden obtener soluciones al problema de la segmentación cromática aplicando métodos que usen conjuntos de datos representados en dos espacios distintos. El primero de ellos es el cromático o descriptivo, caracterizado en términos de coordenadas cromáticas de los distintos puntos de la imagen. El segundo es el espacial propiamente dicho o restrictivo. El problema general de segmentación ("clustering" de los datos de entrada en un espacio de cinco dimensiones $V_T(x, y, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$), queda restringido, por el empleo de este tipo de descomposición, al clustering sucesivo en dos espacios: el restrictivo $V_S(x, y)$ y el descriptivo $V_C(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$. En el espacio restrictivo, es posible definir relaciones de continuidad, de manera que disminuyan el número de clusters dispersos y optimicen el tiempo de segmentación.

Sea $C(F)$ una jerarquía estratificada de un

conjunto F . Definimos una relación de continuidad en $C(F)$ como una relación binaria simétrica y trasmisible R , que satisface las propiedades:

a) Simetría:

$$\forall (f_i, f_j) \in C(F) \quad ; \quad f_i R f_j \implies f_j R f_i$$

b) Trasmisibilidad:

$$\forall (f_i, f_j, f_k) \in C(F) \quad ; \quad \text{si } f_i R f_j \text{ y } f_j C f_k \implies f_i R f_k$$

El grafo de continuidad $G(F)$ es un grafo en el cual los elementos de $C(F)$ son nodos y los bordes son la unión de pares de nodos contiguos. El concepto de trasmisibilidad es importante, pues si un cluster f_j es contiguo a otro f_i , todos los cluster que contienen f_i son contiguos con f_j . Además, cuando dos clusters son agregados, el nuevo cluster es contiguo a alguno de los clusters previamente conexos de los que han sido agregados.

Suponemos que una estructura a priori de F puede ser perfectamente definida en el espacio V , y que podemos asociar un índice de disimilaridad con la estructura definida, considerada esta como una parte de V_S . Entonces, si e_S es un número real positivo, puede definirse la relación de continuidad como:

$$\forall (f_i, f_j) \in F \quad ; \quad f_i R f_j \implies 0 < d(f_i, f_j) < e_S$$

e_s es el umbral de continuidad e indica la máxima distancia a partir de la cual los objetos no son considerados continuos. Si existe alguna contigüidad entre objetos, estos están en principio asociados a un único cluster, de manera que solo existe R entre el cluster "1" (o fondo) y cualquiera de los formados por agregación. (FIG.III.29) Para la elección de "d" pueden seguirse varios criterios (como distancia entre centros de gravedad criterios de unión total o parcial, ect.)

El paso siguiente en la jerarquía es realizar la segmentación dentro de cada cluster procedente de la primera etapa, de forma que en base a criterios de asignación por distancia a ciertas clases colorimétricas tipo, pueda determinarse de forma rápida las componentes de color de cada cluster existente en el espacio V_S (FIG.III.40). Para ello, se eligen como coordenadas del espacio V_C las ya mencionadas $Y, R-Y, B-Y$, donde se representa cada color por sus proyecciones en el plano de referencia $Y=0$. Para definir los colores tipo, sectorizamos el plano $Y=0$ (FIG.III.41), y asignamos a cada color una región estrechamente relacionada con las medidas de saturación y tinte. El fondo de la imagen es tratado como un cluster espacial más en esta etapa, pues puede ocurrir que, por determinadas circunstancias

existan objetos con luminancias semejantes al fondo, pero que posean otras componentes cromáticas con valores significativos. Para ilustrar el método consideraremos las figuras III.41 (a,b,c), donde representamos las componentes Y,R,B de una imagen. El resultado de la aplicación del método descrito puede verse en la figura III.42. Como se observa, los colores reales son escasamente saturados pues son productos de la reflexión de la luz incidente. Sin embargo, los distintos componentes de cada cluster cromático aparecen claramente determinados, pese a que, por el tipo de iluminación, resulten zonas más saturadas que otras.

Se han desarrollado otros métodos de tratamiento de la información cromática, que usan estructuras de tipo jerárquico, como el empleado por Levine [60]. Este utiliza la estructura piramidal, realizando el proceso de segmentación generando tres pirámides de color más otras dos adicionales que son las de textura y bordes. Sin embargo, este método, aunque puede aplicarse a una imagen que tenga un extenso rango de variabilidad en sus parámetros (motivados por la inclusión de la información proporcionada por la textura), resulta excesivamente costoso en cuanto a tiempo computacional. Sin embargo, sugiere nuevas posibilidades para estudiar la información cromática

en relación con otras propiedades y magnitudes de la imagen.

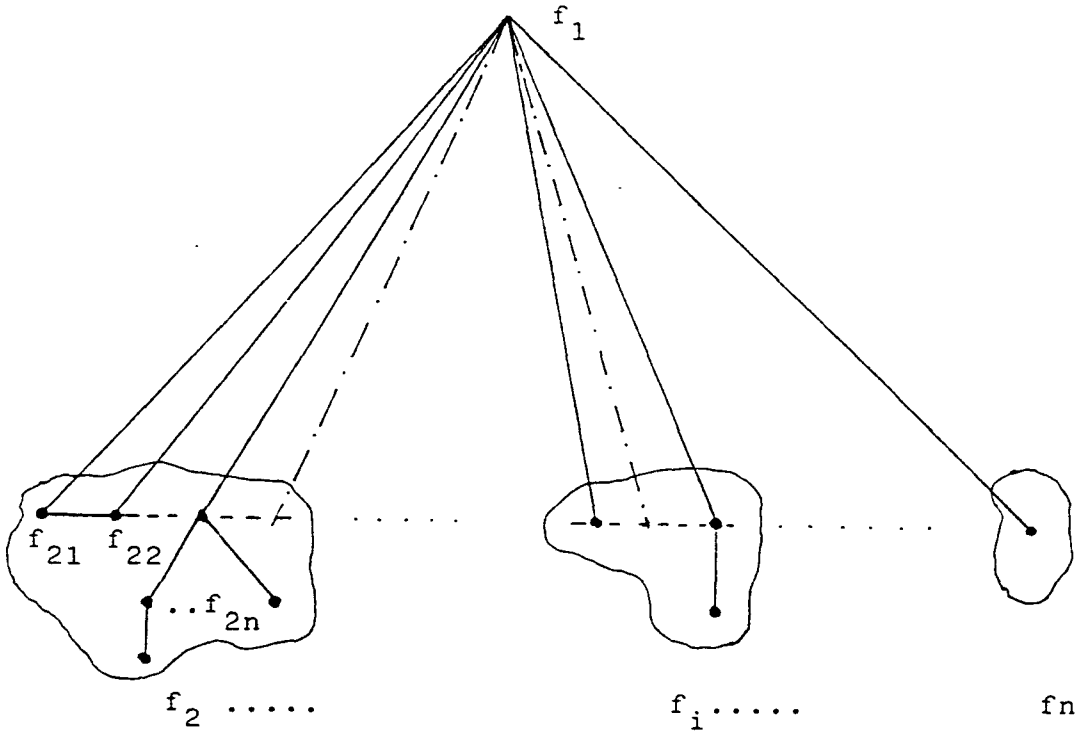


FIG. III.39. Agregación espacial de clusters.

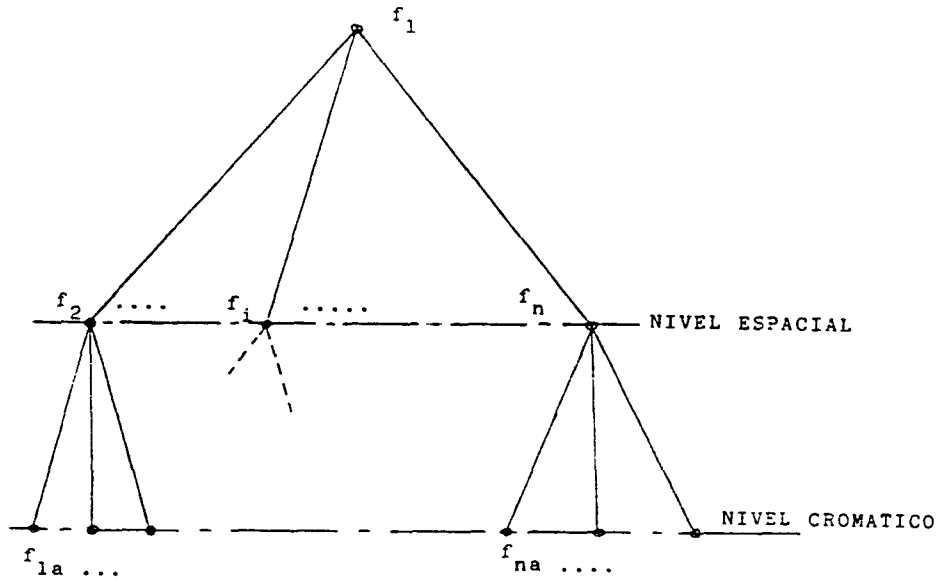


FIG. III.40. Jerarquía espacio-cromática.

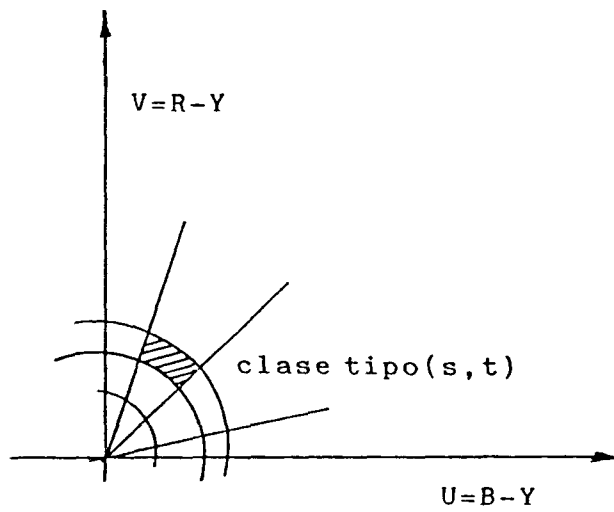


FIG. III.41. Definición de colores tipo.

3.3 RECONOCIMIENTO

=====

3.3.1 TRANSFORMACIONES STANDARD Y NORMALIZACION

=====

Tras la segmentación, las partes que forman una escena aparecen aisladas y separadas de su contexto, aunque, en general, transformadas, en posición y forma, respecto de los posibles patrones standard. Una propiedad de una imagen es una función de la misma cuantificable en una forma numérica. Es decir, las propiedades que caracterizan a una forma dada tendrán su expresión equivalente en un conjunto de números. De acuerdo con ello, objetos similares deberán poseer las mismas propiedades esenciales para su reconocimiento, aun en el caso de que la disposición espacial de ambos y las distancias y condiciones en que fueron adquiridos fueran diferentes en cada caso.

Podemos distinguir dos grupos de propiedades o características: las geométricas, dependientes directamente de la forma y posición del objeto, (como el perímetro, centro de gravedad, área, ect.), y las no geométricas, que son función de la imagen en si, (niveles de señal en un determinado punto,

coeficientes de Fourier, momentos, descriptores espectrales ortogonales, ect.). En general serán deseables aquellas propiedades cuyos valores numéricos definitorios sean invariantes ante cambios de intensidad luminosa, orientación, tamaño, ect., en la imagen o porción segmentada de la misma.

En algunas circunstancias presentes en problemas de reconocimiento, dos segmentos equivalentes sólo van a diferir en su nivel de intensidad o en la posición y tamaño, y entonces deben pertenecer a la misma clase. Es decir, (aunque no en todos los casos), las clases son cerradas ante cambios en los parámetros mencionados. Por ello, se deben buscar propiedades que no dependan de estos parámetros, o bien normalizar los segmentos para que sean invariantes frente a posibles variaciones de los mismos. Existen operaciones elementales para normalizar de forma adecuada un segmento definido matemáticamente como una función luminosa $f(x,y)$. Por ejemplo podemos variar su contraste sin más que multiplicar por un factor de escala K , $Kf(x,y)$, o bien realizar operaciones de traslación desde su centro de masas (X_0, Y_0) a cualquier otro punto standard del plano (X_1, Y_1) de manera que la nueva función $f(x', y')$ venga definida por $f([X-(X_0-X_1)], [Y-(Y_0-Y_1)])$. También pueden efectuarse rotaciones

del segmento, una vez conocido el ángulo θ respecto a una posición standard, sin mas que efectuar el cambio de coordenadas:

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta$$

$$y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$$

Asimismo, la normalización de tamaños es una homotecia de razon apropiada, tomando como centro de la misma el centro de masas. Por ejemplo, si todos los objetos quedan reducidos a un tamaño standard caracterizado por la distancia máxima al c.d.m. (D_0) resultará que, si (X_{max}, Y_{max}) son las coordenadas del punto de máxima distancia (D_{max}), las nuevas coordenadas vendrán dadas por:

$$x' = (D_0/D_{max}) x + (1-(D_0/D_{max})) x_0$$

Análogamente para y' . Algunas propiedades como el área o perímetro son invariantes ante traslaciones y rotaciones. Los ángulos y relaciones entre distancias lo son ante homotecias. Sin embargo, mas que normalizar propiedades geométricas locales, en cuyo cálculo se puede fácilmente cometer errores, debido a variaciones en el proceso de cámara - digitalización, resulta mas conveniente la normalización de propiedades de naturaleza global que proporcionan descriptores absolutos, y que permiten la definición de un objeto (o pieza) en su espacio de

propiedades normalizadas, por medio del representante de la clase de equivalencia a la que pertenece o a la que mas se asemeja.

Un conjunto de funciones ortogonales permite la caracterización de una función. Según mencionamos al principio de este apartado, existe un tipo de propiedades no geométricas de la imagen que la definen. Entre ellas se encuentran los coeficientes de Fourier [82], los momentos [16] y los descriptores espectrales ortogonales [67]. Los coeficientes de Fourier $\langle C_{kj} \rangle$ son el resultado de la aproximación de una función $f(x,y)$ de la forma:

$$f(x,y) \cong \sum_j \sum_k C_{kj} \exp(2\pi i(kx+jy))$$

Donde C_{kj} viene dado por:

$$C_{ij} = \iint_{-\infty}^{\infty} f(x,y) \exp(-2\pi i(kx+jy)) dx dy$$

El conjunto de estos coeficientes C_{kj} $k, j=0, +1, +2, \dots$ constituye la transformada finita de Fourier de $f(x,y)$ y define la imagen correspondiente, aunque representen un conjunto no finito de números que generan un espacio de propiedades de dimensión infinita. Estos coeficientes se ven afectados por las traslaciones; si efectuamos el desplazamiento espacial lineal definido anteriormente, resultará, para los nuevos coeficientes:

$$C'_{kj} = \iint \exp(-2\pi i(k(x-(x_0-x_1))+j(y-(y_0-y_1)))) f(x,y) dx dy$$

$$C'_{kj} = \exp(-2\pi i(k(x_0 - x_1) + j(y_0 - y_1))) C_{kj}$$

Es decir, una traslación en el plano es equivalente a un cambio de fase en el espacio de frecuencias. Una rotación, θ , respecto a una posición dada, transforma los coeficientes (Ver Apéndice 5.1) según:

$$C'_{kj} = C_k \cos\theta + j \text{sen}\theta, -k \text{sen}\theta + j \cos\theta$$

Análogamente, una homotecia de razones a, b según X e Y genera unos nuevos coeficientes definidos por:

$$C'_{kj} = a^k b^j C_{ak, bj}$$

De los resultados anteriores, concluimos que los coeficientes de Fourier son muy sensibles frente a transformaciones sencillas, además de no poseer una rápida convergencia [16]. Se ha recurrido a otros descriptores que forman un conjunto completo y a los que se pueda truncar en un rango finito sin error apreciable y que además presentan algunas invarianzas frente a movimientos en el plano. Entre estos se encuentran los momentos, definidos por:

$$m_{jk} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^j y^k f(x, y) dx dy$$

Si $f(x, y)$ está acotada, ésta asimismo determinada unívocamente por la secuencia $\{m_{jk} \mid j, k=0, 1, \dots\}$ [42]. Los momentos definidos respecto al

c.d.m. de la imagen son invariantes frente a traslaciones:

$$m_{cjk} = \iint (x-x_0)^j (y-y_0)^k f(x,y) dx dy$$

Donde $X_0 = m_{10}/m_{00}$ e $Y_0 = m_{01}/m_{00}$. Sustituyendo X' , X_0' , Y' , Y_0' , por sus valores referidos ante de la traslación, se cumple que:

$$m'_{cjk} = m_{cjk}$$

En figuras que no presenten simetrías centrales, el uso de momentos de bajo orden permite la obtención del ángulo de giro respecto a una posición dada. Se demuestra [..], que, referido a momentos de segundo orden, el ángulo de giro respecto a los ejes principales viene dado por:

$$\theta = \frac{1}{2} \arctg \left(2 m_{c12} / (m_{c11} - m_{c22}) \right) \quad (3.73)$$

La ecuación (3.73) conduce a indeterminaciones en casos de segmentos de alta simetría. No obstante se han desarrollado, a partir de la teoría de invariantes algebraicos, funciones que son invariantes frente a rotaciones, (ver Apéndice 5.1) y que han tenido un amplio campo de aplicación. [100], [101], [19], [30]. Maitra [61] ha propuesto un conjunto de funciones que, además de ser invariantes ante

rotaciones y traslaciones, lo son también ante variaciones de contraste (ver Apéndice 5.2). Estas funciones usan para su definición, alguno de los invariantes frente a rotaciones anteriormente citados.

Otras propiedades que se deducen de desarrollos de series de funciones ortogonales, pueden ser normalizadas. Un ejemplo son los descriptores espectrales ortogonales [67], obtenidos al desarrollar en coordenadas polares la T. de Fourier y cuya expresión general es de la forma:

$$D_{nm} = j_{nm} \iint_A \frac{J_n(w_0 r)}{j_{nm}^2 - w_0^2 r^2} f(r, \theta) \exp(in\theta) dA$$

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

Donde j_{nm} son los ceros de las funciones de Bessel y J_n la función de Bessel de orden n . Estos coeficientes describen de manera completa a una imagen dada, $f(r, \theta)$, y pueden ser reducidos a un número pequeño sin apreciable error. Para obtener fácilmente invariantes frente a rotaciones, dichos coeficientes están expresados en coordenadas polares. Así mismo, al estar definidos respecto al c.d.m. son invariantes frente a traslaciones. La normalización frente a área se consigue realizando una homotecia de manera que la figura quede circunscrita a un área de radio determinado, R_0 .

3.3.2 ENMASCARAMIENTO

=====

A continuación consideramos el uso de ciertas técnicas básicas de reconocimiento que pueden ser aplicadas a una escena compleja para localizar en ella determinados tipos de elementos, sobre los cuales se posee un conocimiento apriori. La complejidad y condiciones de una escena puede hacer excesivamente dificultoso al observador distinguir en ella un pattern determinado y separarlo del resto del contexto no relevante. Suele ocurrir que se enmascara la información significativa no sólo por la presencia de señales aleatorias de diversa índole, sino por la presencia en la escena de otros elementos de naturaleza análoga, como es el caso de fotografías aéreas, escenas industriales, ect. Un procedimiento usado para detección (que se encuentra ampliamente referenciado en la bibliografía [85],[87], [93]) es el de enmascaramiento. En lo que sigue, generalizaremos los conceptos correspondientes al caso de proceso de formas cromáticas.

En esencia esta técnica consiste en definir primero un conjunto de segmentos patrones $\{f\}$, correspondientes a los objetos que se quieren reconocer. Dada otra imagen incógnita g , es preciso

establecer:

a) La similaridad existente entre cada segmento patrón y las distintas zonas de g.

b) La similaridad que existe entre los distintos segmentos patrón y los obtenidos como resultado de una segmentación.

Son varias las formas de medir el grado de similaridad que puede existir entre una forma establecida f y distintas regiones Ag de otra imagen problema g. Se observa que el error cuadrático existente entre f y g en una cierta región sera mínimo en aquellas zonas A de g que mas se asemenen a la forma dada f. Por ello el error cuadrático es una medida aproximada, en un amplio sentido, del grado de similaridad. Para una imagen dada por sus tres componentes, definimos el error cuadrático que existe entre las imágenes f y g sobre una superficie A, por la expresión:

$$\epsilon = \sum_1^3 \alpha_i \int_A (f_i(x,y) - g_i(x,y))^2 dA \quad (3.74)$$

Siendo α_i factores de peso para cada componente, que supondremos en lo sucesivo igual a la unidad. Si desarrollamos la expresión (3.74):

$$\epsilon = \sum_1^3 \int_A f_i^2(x,y) dA + \sum_1^3 \int_A g_i^2(x,y) dA - 2 \sum_1^3 \int_A f_i(x,y) g_i(x,y) dA$$

Cada sumando del primer término del segundo miembro representa la potencia de la señal de entrada en un sentido restrictivo. Análogas consideraciones pueden hacerse para el segundo término con respecto a g_i ($i=1,2,3$). Si los dos términos anteriores vienen fijados, entonces el error será mínimo cuando el tercer término de la ecuación (3.75) sea máximo, es decir cuando la correlación cruzada entre f y g sobre la superficie de aplicación sea máxima. La correlación cruzada definida a partir de (3.75), (tomando f_i cero fuera del área A), caracterizada por sus coordenadas centrales u, v , es:

$$\sum_{i=1}^3 \iint_{-\infty}^{\infty} f_i(x,y)g(x+u,y+v)dx dy \quad (3.75)$$

Puede justificarse que la ecuación (3.75) es una medida de la semejanza entre dos formas f y g . También puede llegarse a esta conclusión (aunque con ciertas restricciones) con el siguiente razonamiento: supongamos señales discretas y que dentro de un área A , una función g_i ($i=1,2,3$) puede dualmente expresarse por:

$$g_i(k,l)=f_{1i}(k,l)+ n(k,l)$$

$$g_i(k,l)=f_{2i}(k,l)+ n(k,l)$$

Donde $n(x,y)$ es una señal aleatoria independiente de tipo gaussiano con media 0 y

desviación σ . Como se trata de sucesos independientes y $n(k,l)$ se distribuye de forma gaussiana, la probabilidad de observar en $g(x,y)$ representada a la imagen $f_1(x,y)$, si esta esta presente, resulta proporcional a:

$$\prod_{k=1}^3 \prod_{l=1}^{n_A} \prod_{i=1}^{m_A} \exp(-(g_i(k,l)-f_{1i}(k,l))^2/2 \sigma^2)$$

Donde $m_A \times n_A$ representa el número de puntos de la superficie A. De forma análoga, para $f_2(x,y)$ se tiene:

$$\prod_{k=1}^3 \prod_{l=1}^{n_A} \prod_{i=1}^{m_A} \exp(-(g_i(k,l)-f_{2i}(k,l))^2/2 \sigma^2)$$

Para comparar el grado de similaridad entre g y f_1 o g y f_2 se comparan sus probabilidades y se decide por aquella que la probabilidad sea mayor. Es equivalente comparar dos magnitudes o sus logaritmos. Prescindiendo de factores irrelevantes en la comparación, resulta que, para dos imágenes de potencias parecidas, nos decidiremos por aquella que posea mayor el término:

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^{n_A} \sum_{l=1}^{m_A} g_i(k,l) f_i(k,l)$$

Así pues, evaluando este coeficiente para todas las regiones A, encontraremos la proximidad o similitud que existe entre las formas $f(x,y)$ y las distintas zonas de $g(x,y)$. Es decir, las zonas de

máxima correlación nos indican las zonas de máxima semejanza. Las medidas de correlación normalizadas son generalizables al caso de imágenes tricromáticas por la expresión:

$$C_{fg}(i,j) = \frac{\sum_k \sum_n \sum_m g_k(n,m) f_k(n-i,m-j)}{\sum_k \sum_n \sum_m g_k(n,m) \sum_k \sum_n \sum_m f_k(n,m)}$$

Para una máscara-imagen dada $f_k(i,j)$ ($k=1,2,3$), resulta que el término $\sum_k \sum_n \sum_m f_k$ es una constante. Por lo tanto, se tiene que:

$$C_{fg}(i,j) = \frac{\sum_k \sum_n \sum_m g_k(n,m) f_k(n-i,m-j)}{\sum_k \sum_n \sum_m g_k(n,m)}$$

Sin embargo estas expresiones presentan la desventaja de una alta sensibilidad al ruido [93], y un costo excesivo en el tiempo empleado para su evaluación en cada punto (i,j) . Para disminuir tiempos computacionales, se han empleado otros métodos de cuantificación del error, que proporcionan asimismo una medida de semejanza [93], [37]. Estos están basados en determinar el error por medio de:

$$E(i,j) = \sum_{k=1}^3 \alpha_i \int_A |f_i(x,y) - g_i(x,y)| dA$$

Con $\alpha_i = 1/\gamma_i$. En [] se efectúa un análisis del tiempo de proceso, que es inferior al que resulta de aplicar las anteriores expresiones (3.77),(3.78). Para cada punto de la imagen discreta $g(i,j)$, el

error se evalúa por medio de:

$$E(i,j) = \sum_{k=1}^3 \sum_{n=1}^{n_A} \sum_{m=1}^{m_A} |g_k(n,m) - f_k(n-i,m-j)|$$

Estas técnicas exigen un posterior tratamiento selectivo de tipo umbral de manera que

$$E_o(i,j) = \begin{cases} 1 & ; \text{ si } E(i,j) \leq U_f \\ 0 & ; \text{ en } \forall \text{ otro caso} \end{cases}$$

Donde U_f se fija de acuerdo con las condiciones del tipo de máscara f empleado.

Se han aplicado algunas de estas técnicas para imágenes tricromáticas, obteniéndose los resultados mostrados en las figuras A.1 y siguientes. Sin embargo, se ha presentado el problema del excesivo coste computacional. La utilización de máscaras como método rápido de reconocimiento exige que el objeto y máscara se encuentren en la misma posición y posean tamaños análogos, pues, aunque en el método existen invarianzas ante traslaciones, no los hay frente a homotecias o giros. Como consecuencia, se necesitan mecanismos previos que lleven el objeto problema a posiciones tipo. Para la optimización de tiempos puede recurrirse a estructuras de tipo jerárquico, como las propuestas por Hall et al. [37]. Los métodos allí expuestos se basan en la reducción jerárquica de información para conseguir imágenes de menor tamaño. La búsqueda se realiza por niveles, cada uno de los

cuales corresponde a un tamaño de imagen dada. Solo son objeto de búsqueda aquellas zonas que en el nivel jerárquico inferior dan resultado positivas. Así, si en el método descrito anteriormente son precisos $(N-M+1)$ desplazamientos, en el método propuesto por Hall (incluyendo los cálculos correlacionales) se necesitan $\lg(N-M+1)$, que aun sigue siendo un número elevado. Por ello concluimos que, salvo determinados casos muy específicos (como son ciertas actividades de tipo industrial que involucren un número muy reducido de objetos a reconocer y que mantengan una posición fija) las operaciones de enmascaramiento son costosas, aunque se empleen procesadores de array "ad hoc". La solución mas versatil consiste en recurrir a técnicas de reconocimiento globales como el uso de momentos o de descriptores espectrales ortogonales que faciliten una reducción de la información.

IV. CONCLUSIONES Y PRINCIPALES APORTACIONES

=====

1. Se ha realizado una formulación generalizada del proceso de construcción de los espacios de color, partiendo de un espacio cuadrimensional de entrada, para imágenes planas, y generando, con transformaciones integrales los espacios de salida. En estos, se definen los parámetros que caracterizan localmente el color. Asimismo, se ha realizado un enfoque de la clasificación cromática de acuerdo con las ideas de reconocimiento de formas.

2. Se ha estudiado y realizado un nuevo sistema de adquisición de imágenes en color a partir de una cámara tricromática, construyendo y probando todo el "hardware" necesario de adaptación de señal y de interface con el sistema de computadores, así como el "software" de control.

3. Se han desarrollado los problemas implícitos en la representación de imágenes en color a través de impresora, que ha permitido converger en un procedimiento optimizado. El procedimiento ha sido implementado en los correspondientes programas de ordenador, experimentando y evaluando las varias

alternativas.

4. Se ha realizado un estudio teórico original de las perturbaciones esperables en la cadena cámara-color computador, desarrollándose sistemas para su corrección. Se han planteado y resuelto los distintos problemas de presentación de imágenes blanco y negro, con la inclusión de señales aleatorias en la presentación y la transformación no-lineal de histogramas. Asimismo se han planteado y resuelto los distintos problemas relativos a filtrado espacial.

5. Se ha generalizado el concepto de umbralización y se han analizado los problemas de "clustering" con vistas a su aplicación en procesos de separación en espacios de color. Asimismo, se ha tratado y resuelto el problema de umbralización automática, por métodos de aproximación gaussiana y polinómica de histogramas.

6. Asimismo, se ha hecho un análisis de la incidencia sobre la clasificación de la segmentación, segmentación jerárquica, técnicas de transformaciones y normalización, así como el enmascaramiento. La conclusión final es que cualquier sistema para el reconocimiento de propiedades cromáticas de utilidad práctica, han de estar basados en el uso de

procedimientos de reconocimiento de formas, con las generalizaciones necesarias.

7. Las distintas técnicas de representación, segmentación y reconocimiento han sido implementadas en la cadena cámara color-computador. Se han realizado experiencias con imágenes reales, que han sido preprocesadas, obteniéndose resultados que son de incidencia inmediata en los sistemas visuales de robótica industrial para aplicaciones muy variadas.

8. El logro conceptual más importante de este trabajo consiste en la idea de tratar el problema de la identificación del color local en imágenes como un problema de reconocimiento y clasificación en espacios cromáticos. Esta idea permite aplicar toda una serie de herramientas formales para extraer descriptores del color que tengan las propiedades de invarianza frente a transformaciones standard en dichos espacios de descripción. Se concluye que el problema de la información cromática adicional de una imagen coincide con el de la integración multisensorial, de forma que dicha información ha de ser utilizada globalmente con otras para aumentar el proceso discriminante del proceso de identificación en situaciones robóticas concretas, así como para acelerar y optimizar los procesos de diagnóstico

visual. Asimismo, la metodología seguida indica varias perspectivas futuras de trabajo, de aplicación inmediata en el desarrollo de sistemas visuales para robots industriales, que pueden ser resumidas de la siguiente forma:

a) En lo que respecta a la adquisición de imágenes cromáticas, el sistema desarrollado sugiere un nuevo ataque del problema, basado en la adquisición paralela de la información cromática, y en procesos que supongan una reducción de la información total a manejar.

b) En lo que respecta a los procesos cromáticos para la extracción de descriptores, se aporta la necesidad de proseguir las investigaciones teórico-prácticas, incluyendo toda una variedad de procesos espacio cromáticos, es decir, procesos donde existe una influencia lateral espacial entre los componentes cromáticos locales.

c) En lo referente a los mecanismos de reconocimiento, procede el desarrollar algoritmos de etiquetado espaciales, con definición de un número pequeño de etiquetas de zonas cromáticas, cuyos valores sean invariantes frente a transformaciones standard y que permita una reducción apreciable en

los espacios de descriptores de nivel más alto.

VI. REFERENCIAS

=====

1. - ABRAMOWIZ, M.; SEGUN, I. (1.964): "Handbook of Mathematical Functions". Dover Publications Inc. Inglaterra.
2. - ALBERS, J. (1.971): "La Interacción del Color". Alianza Editorial, Madrid.
Zaragoza.
3. - ALBUS, J.S. (1.981): "Brains Behavior and Robotics". Byte Books, McGraw-Hill. New York.
4. - ARBID, M.A. (1.981): "Cerebros Máquinas y Matemáticas". Ed. Alianza. Madrid.
5. - AYANT, Y.; BORG, M. (1.974): "Funciones Especiales". Ed. Alhambra. Madrid.
6. - BAIRD, M. L. (1.978): "Sight I: A Computer Vision System for Automated IC Chip Manufacture". IEEE, trans. System, Man and Cy_ Cybern., vol. SMC-8, pp. 650-655.
7. - BARLOW, H. B. (1.979): "Reconstructing the visual Image in Space and Time". Nature, vol 279, 17. Mayo. Pp. 189-190.
8. - BASANEZ, L. (1.983): "La percepción visual en los Robots Industriales: Realidades y Tendencias". Primer Congreso de Robótica Industrial, Marzo. Actas sin numerar. Bilbao.
9. - BERNHART, J. (1.977): "La Iluminación para la Televisión en Color". Instituto Oficial de Radiodifusión y Televisión. Madrid.
- 10.- BETENCOURT, T. (1.978): "Teoría y Técnica de la Televisión en Color". Instituto Oficial de Radiodifusión y Televisión. Madrid.

REFERENCIAS

- 11.- BIRD, J. F.; MASSOF, R. W. (1.978): "A General Zone Theory of Color and Brightness Vision. II. The space-time Field". Journal of the Optical Society of America, vol. 68, numero 11, Noviembre, pp. 1471-1480.
- 12.- BOLIVAR, O. (1.983): "Clusterización y Aislamiento de Textos Adquiridos por una Cadena Cámara-Ordenador". Tesina de Licenciatura. Universidad de La Laguna.
- 13.- BROWN, P. K.; WALD, G. (1.964): "Visual Pigments in single rods and cones of the Human Retina". Science, 144, pp. 45-52.
- 14.- BURGEAT, M.; GRALL, Y.; LOTH, A. (1.973): "Physique et Biophysique: Biophysique Sensorielle". Tomo 3. Masson et Cie. Paris.
- 15.- CALDERON LOPEZ, E. (1.980): "Televisión I: Fundamentos. Dispositivos. Televisión Monocroma". E.T.S.I. de Telecomunicación. Madrid.
- 16.- CANTON, M. (1.982): "La Teoría de Momentos en el Análisis de Formas. Formulación Tensorial, Invarianzas y Aplicaciones". Tesis Doctoral. Universidad de La Laguna.
- 17.- CANTON, M.; RUBIO ROYO, F.; GARCIA ALEGRE, M. C. (1.983): "La Teoría de Momentos Generalizados en la Reconstrucción y Caracterización de Formas". Actas del II Symposium de Ingeniería Biomédica, pp. 475-481, Octubre. Madrid.
- 18.- CASAS J. (1972): "Optica". Facultad de Ciencias. Universidad de
- 19.- COIFFET, P.; RIVES, P. (1.980): "Reconnaissance par un Robot de l' Orientation d' Objects Tridimensionels en vue de Faches de Saisie Automatique". Syst. Anal. Control, 14. 1, pp. 5-32.

REFERENCIAS

- 20.- CORNSWEET, T. N. (1.970): "Visual Perception". Academic Press, New York.
- 21.- CUADRAS, C. M. (1.981): "Métodos de Análisis Múltivariante". Ed. Universitaria de Barcelona.
- 22.- CHIN, R. T.; MARLOW, C. A. (1.983): "Automated Visual Inspection : A survey" IEEE, Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., PAMI 4, 6, pp. 557-573.
- 23.- CHOW, C. K.; KANEKO, K. (1.972): "Automatic Boundary Detection of the Left Ventricle from Cineangiograms". Comp. Biomedical Res., 5, pp. 388-392.
- 24.- DAVIS, L. S. (1.975): "A Survey of Edge Detection Techniques ". Computer Graphics and Image Processing, 4, pp. 248-270.
- 25.- DAW, N. W. (1973): "Neurophysiology of Color Vision". Physiological Reviews, vol. 53, numero 3, Julio, pp. 571-611.
- 26.- DIAS VELASCO, F.; ROSENFELD, A. (1.980): "Some Methods for the Analysis of Sharply Bounded Clusters". IEEE trans. System, Man and Cybernetics, vol SMC-10, numero 3, pp. 519-524.
- 27.- DORN, W. S.; McCracken, D. D. (1.974): "Numerical Methods with Fortran IV Case Studies". Wiley, New York.
- 28.- DUBES, R.; JAIN, A.K. (1.979): "Validity Studies in Clustering Methodologies". Pattern Recognition, vol. II, numero 4, pp. 255-262.

REFERENCIAS

- 29.- DUDA, R. O.; HART, P. E. (1.973): "Pattern Classification and Scene Analysis", Jhon Wiley and Sons, New York.
- 30.- DUDANI, S. A.; BREENDING, K. C.; MCGHEE, R. B. (1.977): "Aircraft Identification by Moments Invariants", IEEE trans. on Comp., C-26, 1, pp. 39-45.
- 31.- EKMAN, G. (1.954): "Dimension of Color Vision", J. Psychology, 38, pp. 467-474.
- 32.- FALCON, A.; MENDEZ, J. A. (1.983): "Proceso y Segmentación Cromática en una Cadena Cámara-Color-Computador", Actas del II Symposium de Ingeniería Biomédica, pp. 505-510, Octubre, Madrid.
- 33.- FIASCORANO, S. G. (1.975): "Two Dimensional Nonrecursive Filters", En Picture Processing and Digital Filtering, Topics in Applied Physics, vol. 6, pp. 70-128, Springer Verlag, New York.
- 34.- FORTES, J. (1.982): "Realización y Puesta en Funcionamiento de un Sistema Cámara-Ordenador, (con diseño hardware y software de adquisición, proceso y presentación de imágenes digitales)", Proyecto de fin de carrera, ETSII, Universidad Politécnica de Las Palmas.
- 35.- GONZALEZ, R. C.; WINTZ, P. (1.977): "Digital Image Processing", Addison Wesley.
- 36.- GONZALEZ RODRIGUEZ, M.; MORENO-DIAZ, R. (1.983): "Modelo de Procesos Retinales de Color a Nivel Analítico", Actas del II Symposium de Ingeniería Biomédica, pp. 239-244, Octubre, Madrid.
- 37.- HALL, E. L.; WONG, R. Y.; ROUGE, L. J. (1.976): "Hierarchical Search for Image Matching", Procc. IEEE Conf. on Decision Control, pp. 791-796, Clearwater, F. L.

REFERENCIAS

- 38.- HALL, E. L.; TIO, J. B. K.; McPHERSON, C. A.; SADJANI, F. A. (1.982): "Measuring Curves Surfaces for Robot Vision". IEEE Computer, vol. 15, numero 12, pp. 42-54.
- 39.- HOLLAND S. W.; WARD M. R. (1.979): "Consight-I: A Vision Controlled Robot System for Transferring Parts from Belt Conveyors" . En Computer Vision and Sensors Based Robots. (Ed. Dodd G. G.; Rossel L.), Plenum Press, pp. 81-100. New York.
- 40.- HOROWITZ, S. L.; PAVDILIS, T. (1.974): "Picture Segmentation by a Directed Split-and-Merge Procedure". Procc. Second Int. Join Conf. on Patern Recognition, pp. 424-433, Agosto, Copenhagen.
- 41.- HURVICH, L. M.; JAMEJON D. (1.957) "An Opponent Theory of Color Vision". Psychological Rev., vol. 64, 6, pp. 384-404.
- 42.- HU, M. W. (1.962): "Visual Pattern Recognition by Moments Invariants". IRE, trans. Inform. Theory, IT-8, pp. 179-187.
- 43.- HUTSON, G. H. (1.971): "Colour Television Theory". McGraw- Hill, Inglaterra.
- 44.- ITO, T. (1.975): "Color Picture Processing by Computer". 4th. Inter. Join Cont. Artificial Intelligence, pp. 635-642.
- 45.- ITO, T.; FUKUSHIMA, M. (1.976): "Computer Analysis of Color Information with Applications to Picture Processing". 3rd. Inter. Join Conf. Pattern Recognition, pp. 833-837.
- 46.- ITO, T. (1.976): "Pattern Clasification by Effect Method". 3rd. Inter. Join Conf. Pattern Recognition, pp. 26-30.

REFERENCIAS

- 47.- ITO, T. (1.980): "Digital Color Picture Processing". Proc. of the EUSIPCO-80, (First European Signal Processing Conference), Pp. 71-81. Lausanne.
- 48.- JARVIS, L. (1.982): "A Computer Vision and Robotics Laboratory". Computer IEEE, Junio, pp. 8-24.
- 49.- JEREZ, M. (1.972): "Fundamentos Matemáticos de la Estadística y la Información". E.T.S. Ingenieros Industriales. Madrid.
- 50.- JUSTUSSON, B. I. (1.981): "Median Filtering: Statistical Properties". En Two-Dimensional Digital Signal Processing II, Topics in Applied Physics, vol. 43, pp.161-196. Springer Verlag, New York.
- 51.- KING-SUN-FU. (1.982): "Pattern Recognition for Automatic Visual Inspection". IEEE Computer, Diciembre, pp. 34-40.
- 52.- KELLY, D. H. (1.965): "Spatial Frequency, Bandwidth and Resolution". Applied Optics, vol. 4, numero 4, Abril, pp. 435-437.
- 53.- KELLY, D. H. (1.974): "Spatio-Temporal Frequency Characteristics of Color-vision Mechanisms". Journal of the Optical Society of America, vol. 64, numero 7, Julio, pp. 983-990.
- 54.- KENT, E.W. (1.981): "The Brains of Men and Machines". Byte Books, McGraw-Hill, New York.
- 55.- KLINGER, A.; DYER, C. (1.976): "Experiments on Picture Representations Using Regular Decomposition". Computer Graphics and Image Processing, Marzo, vol. 5, numero 1, pp. 68-105.
- 56.- KRUGER, R. P.; THOMPSON, W. B. (1.981): "A Technical and Economic Assessment of Computer Vision for Industrial Inspection and Robotic Assembly". Proc. of the IEEE, vol. 69, numero 12, pp. 1524-1538.

REFERENCIAS

- 57.- LARABEE, R. D. (1.959): "Spectral Emissivity of Tungsten". J. Opt. Soc. Am. 49, 6, Junio, pp. 619-625.
- 58.- LE GRAND, Y. (1.972): "Optique Physiologique, Lumiere et Couleurs", Tomo II, Masson et Cie, Paris.
- 59.- LEVINE, M. D. (1.969): "Feature Extraction: a Survey". Proc. of the IEEE, vol. 57, 8, pp. 1391-1407.
- 60.- LEVINE, M. D. (1.980): "Region Analysis Using a Pyramid Data Structure". En Structured Computer Vision (ed. Tanimoto, S.; Klinger, A.) pp. 57-100, Academic Press.
- 61.- MAITRA, S. (1.979): "Moment Invariants". Proc. IEEE, 67, 4, pp. 697-699.
- 62.- MASSOF, R. W.; BIRD, J. F. (1.978): "A General Zone Theory of Color and Brightness Vision. I. Basic Formulation". Journal of the Optical Society of America, vol. 68, numero 11, Noviembre, pp. 1465-1470.
- 63.- MASSOF, R. W.; STARR, S. J. (1.980): "Vector Magnitude Operation in Color Vision Models: Derivation from Signal Detection Theory". Journal of the Optical Society of America, vol. 70, numero 7, Julio, pp. 870-872.
- 64.- MENDEL, J.M.; FU, K.S. (1970): "Adaptative Learning and Pattern Recognition Systems: Theory and Applications", Acad. Press, New York.
- 65.- MENDEZ, J. A.; FALCON, A. (1.983): "Criterios de Discrepancia y Distancia en el Reconocimiento de Formas". Actas del II Simposium de Ingeniería Biomédica, pp. 489-494. Octubre, Madrid.

REFERENCIAS

- 66.- MENDEZ, J. A.; FALCON, A. (1.983): "Detección y Aislamiento de Formas en un Sistema de Control Visual para Robots". V Jornadas de Automática, pp Vigo.
- 67.- MENDEZ, J. A. (1.983): "Contribuciones a una Teoría Generalizada del Reconocimiento de Formas". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Las Palmas.
- 68.- MERSEREAU, R. M. (1.981): "Two Dimensional Nonrecursive Filter Desing". En Two Dimensional Digital Processing I. (Ed. Huang T.S.), Topics in Applied Physics, Vol 42, pp 11-40. Springer Verlag, New York.
- 69.- MESE, M.; YAMAZAKI, I.; HAMADA, T. (1.977): "An Automatic Position Recognition Technique for LSI Assembly". Proc. of the 5th. Int. Conf. on Artif. Intell., pp. 685-693. Cambridge.
- 70.- MILLER, G.; SNYDER, A. W. (1.973): "Optical Function of Human Peripheral Cones". Vision Res., vol. 13, pp. 2185-2194.
- 71.- MORENO-DIAZ, R.; SANTANA, O. (1.979): "Computer Programs to Implement Retinal Models" Int. J. Biomed. Comp., pp. 231-234.
- 72.- MORENO-DIAZ, R.; RUBIO, E. (1.979): "A Theoretical Model for Layered Visual Processing" Int. J. Bio-Medical Computing, (10), pp. 231-243.
- 73.- MORENO-DIAZ, R.; RUBIO, E. (1.980): "A Model for Nonlinear Processing in Cat's Retina" Biol. Cybernetics, 35, pp. 85-89.
- 74.- MORENO-DIAZ, R.; RUBIO ROYO, F. (1.981): "Towards a Theory of Visual Processing in Vertebrate Retina". En Applied Systems and Cybernetics (ed. Lasker, E.) pp. 1859-1864. Pergamon, New York.

REFERENCIAS

- 75.- MUNOZ J.; BOLIYAR, O.; CANDELA, S. (1.983): "Clusterización de Textos Escritos Adquiridos por una Cadena Cámara Ordenador". Actas del II Symposium de Ingeniería Biomédica, pp. 511-516. Octubre. Madrid.
- 76.- NISHIHARA, S.; IKEDA, W. (1.982): "False-Contour Removal by Random Blurring". Computer Graphics and Image Processing, vol. 20, numero 4, pp. 391-397.
- 77.- NUNEZ, A. (1.981): "Teoría Unificada del Proceso y Transmisión de Datos en la Retina". Tesis Doctoral. E.T.S.I.T. Universidad Politécnica. Madrid.
- 78.- ONOE, M.; ISMIZUKA, M.; TSUBUI, K. (1.981): "Real-Time Shading Corrector for a Television Camera with a Microprocessor". En Real Time/Parallel Computing, Image Analysis (ed. ONOE, M.; PRESTON, K.; ROSENFELD, A.) pp. 339-346.
- 79.- OPPENHEIM, A. V.; SHAFER, R. W. (1.975): "Digital Signal Processing". Prentice Hall, New York.
- 80.- PADGMAN, C. A.; SAUNDERS, J. E. (1.975): "The Perception of Light and Colour". Academic Press, New York.
- 81.- PADLIDIS, T. (1.977): "Structural Pattern Recognition". Springer Series in Electrophysics, vol. I. Springer-Verlag, New York.
- 82.- PAGOULIS, A. (1.962): "The Fourier Integral and Its Applications". McGraw-Hill, New York.
- 83.- PAGOULIS, A. (1.972): "Sistemas Digitales y Analógicos, Transformadas de Fourier, Estimación Espectral". Ed. Marcombo, Barcelona.
- 84.- PIRENNE, M. H. (1.967): "Vision and the Eye". Science Paperback 47, Chapman and Hall Ltd., Londres.

REFERENCIAS

- 85.- PRATT, W. W. (1.978): "Digital Image Processing". John Wiley and Sons, New York.
- 86.- RINK, M. (1.976): "A Computerized Quantitative Image Analysis Procedure for Investigating Features and an Adapted Image Process". Journal of Microscopy, vol. 107, 3, pp. 267-286.
- 87.- ROSENFELD, A.; KAK, A. C. (1.976): "Digital Picture Processing". Academic Press, New York.
- 88.- RUBIO, E. (1.979): "Modelos Retinales Generalizados". Tesis Doctoral. Universidad de La Laguna, Tenerife.
- 89.- RUDIN, W. (1.974): "Real and Complex Analysis". McGraw-Hill, New York.
- 90.- RUSHTON, W. A. H. (1.962): "Visual Pigments in Man". Scientific American, vol. 207, 5, pp. 120-132.
- 91.- SAID, S.; WEALE, R. A. (1.959): "The Variation with Age of the Spectral Transmissibility of the Living Human Crystalline Lens". Gerontologia 3, pp. 213-217.
- 92.- SANTANA, O. (1.979): "Simulación de Procesos Retinales en Ordenador: Desarrollo de un Lenguaje y Aplicaciones". Tesis Doctoral. Universidad de La Laguna.
- 93.- SANTANA, O.; FORTES, J.; DE LA NUEZ, I. (1.980): "Visual Object Isolation and Recognition by a Camera-Computer System". Proc. Inter. Congr. on App. Syst. Research and Cybernetics, pp. 2405-2410. Acapulco.
- 94.- SANTESMASES, J. "Cibernética y Proceso de la Interacción Visual en los Seres Vivos y en las Máquinas". Real Academia de Ciencias F. y N. Discurso Inaugural del año académico 1970-1971.

REFERENCIAS

- 95.- SCHERL, W.; MAHL, F.; FUCHSBERGER, H. (1980): "Automatic Separation of Text Graphic and Picture Segments in Printed Material", En Pattern Recognition in Practique (ed. Gelsema, E. S.; Kahal, L. W.) pp. 213-221. North-Holland Pub. Company.
- 96.- SHEPARD, R. N. (1962): "The Analysis of Proximities: Multidimensional Scaling with an Unknow Distance Function I". *Psychometrica*, 27, pp. 125-140.
- 97.- SHEPARD, R. N. (1962): "The Analysis of Proximities: Multidimensional Scaling with an unknow Distance Function II". *Psychometrica*, 27, pp. 219-246.
- 98.- SINGH, J. (1972): "Teoría de la Información del Lenguaje y de la Cibernética". Alianza Universidad. Madrid.
- 99.- SMITH, C. U. M. (19..): "El Cerebro". Alianza Universidad. Madrid.
- 100.- SMITH, F. W.; WRIGHT, M. H. (1970): "Automatic Ship Photo Interpretation by the Method of Moments: an Application of Feature Selection Techniques". IEEE Conference Record of the Simp. on Feature Extraction and Selection in Pattern Recognition, pp. 145-154. Argonne, IL., USA.
- 101.- SMITH, F. W.; WRIGHT, M. H. (1971): "Automatic Ship Photo Interpretation by the Method of Moments". *IEEE Trans. on Comp.*, C-20, pp. 1089-1095.
- 102.- SPATH, H. (1980): "Cluster Analysis Algorithms for Data Reduction and Clasification of Objects". Ellis Horwood Pub., Chinchester, Inglaterra.
- 103.- STILES, W. S. (1939): "The Directional Sensitivity of the Retina and the Spectral Sensitivities of the Rod and Cones". *Proc. of. R. Soc. B.*, 127, pp. 64-105.

REFERENCIAS

- 104.- TANIMOTO, S. L.; PAYDILIS, T. (1975): "A Hierarchical Data Structure for Picture Processing". Computer Graphics and Image Processing, vol. 4, numero 2, Junio, pp. 104-119.
- 105.- TANIMOTO, S. L. (1976): "Pictorial Feature Distorsion in a Pyramid". Computer Graphics and Image Processing, vol. 5, numero 3, Septiembre, pp. 333-352.
- 106.- TANIMOTO, S. L. (1980): "Image Data Structures". En Structured Computer Vision, pp. 31-55 (Ed. Tanimoto, S. L.; Klinger, A.) Academic Press.
- 107.- TUKEY, J. W. (1977): "Exploratory Data Analysis". Addison Wesley Reading, Mass.
- 108.- TYAN, S. G. (1981): "Median Filtering: Deterministic Properties ". Two-Dimensional Signal Processing II. Topics in Applied Physics, vol. 43, pp. 197-217. Springer Verlag-New York.
- 109.- VOS, J. J.; WALRAVEN, P. L. (1972): "An Analytical Description on the Line Element in the Zone-fluctuation Model of Colour Vision.- I Basic Concepts". Vision Res., vol. 12, pp. 1327-1344.
- 110.- VOS, J. J.; WALRAVEN, P. L. (1972): "An Analytical Description of the Line Element in the Zone-fluctuation Model of Colour Vision.- II The Derivation of the Line Elements". Vision Res., vol. 12, pp. 1345-1365.
- 111.- WALD, G. (1945): "Human Vision and the Spectrum". Science 101, pp. 653-658.
- 112.- WESKA, D. S.; NAGEL, R. N.; ROSENFELD, A. (1974): "A Threshold Selection Technique". IEEE Trans, On Computer, vol. C-23, pp. 1322-1326.

REFERENCIAS

- 113.- YACHIDA, M.; SABURO, T. (1.977): "A versatile Machine Vision System for Complex Industrial Parts". IEEE Trans. on Computers, vol. C-26, numero 29, pp. 882-894.

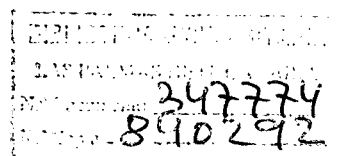
TESIS DOCTORAL
PROCESO Y EXTRACCION DE PROPIEDADES CROMATICAS
EN FORMAS VISUALES

DESARROLLO DE UN SISTEMA Y APLICACIONES
(APENDICES)

Autor: Antonio Falcón Martel
Director: Roberto Moreno Díaz

Escuela Técnica Superior de Ing. Industriales
Universidad Politécnica de Las Palmas

Noviembre, 1.983



VI. APENDICES
=====

6.1 ECUACIONES Y RESULTADOS

=====

6.1.1 DEMOSTRACIONES
=====

a) Obtención de la ecuación (2.4)

$$E(k, A, B, i_0, j_0) = \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{M-1} (f_{ij}^{-k(1+A(i-i_0)^2+B(j-j_0)^2)})^2$$

N=128
M=116

(A.1)

$$\frac{\partial E}{\partial k} = \sum_i \sum_j 2(-1) G(i, j) W(i, j) = 0$$
(A.2)

$$\frac{\partial E}{\partial A} = \sum_i \sum_j 2(-k) (i-i_0)^2 W(i, j) = 0$$
(A.3)

$$\frac{\partial E}{\partial B} = \sum_i \sum_j 2(-k) (j-j_0)^2 W(i, j) = 0$$
(A.4)

$$\frac{\partial E}{\partial i_0} = \sum_i \sum_j 2(-kA) (-2)(i-i_0) W(i, j) = 0$$
(A.5)

$$\frac{\partial E}{\partial j_0} = \sum_i \sum_j 2(-kB) (-2)(j-j_0) W(i, j) = 0$$
(A.6)

$$W(i, j) = f_{ij}^{-k(A(i-i_0)^2+B(j-j_0)^2+1)}$$

$$G(i, j) = A(i-i_0)^2 + B(j-j_0)^2 + 1$$

De la ecuación A.2 se tiene:

$$\sum_i \sum_j W(i, j) + A \sum_i \sum_j (i-i_0)^2 W(i, j) + B \sum_i \sum_j (j-j_0)^2 W(i, j) = 0$$
(A.7)

De A.3 y A.4 en A.7 se tiene:

$$\sum_i \sum_j W(i, j) = 0$$
(A.8)

De A.3, A.5 y A.8 resulta:

$$\begin{aligned} \sum \sum f &= kNM + kAM \sum (i-i_0)^2 + kB \sum (j-j_0)^2 \\ \sum \sum (i-i_0) f &= kN \sum (i-i_0) + kAM \sum (i-i_0)^3 + kB (\sum (i-i_0)^2) (\sum (j-j_0)^2) \\ \sum \sum (i-i_0)^2 f &= kN \sum (i-i_0)^2 + kAM \sum (i-i_0)^4 + kB (\sum (i-i_0)^2) (\sum (j-j_0)^2) \\ \sum \sum (i-i_0) f &= (\sum (i-i_0)) (kN + kB \sum (j-j_0)^2) + kAM \sum (i-i_0)^3 \\ &= (\sum (i-i_0)) \frac{(\sum \sum f - kAM \sum (i-i_0)^2)}{N} + kAM \sum (i-i_0)^3 \end{aligned} \quad (A.9)$$

$$\sum \sum (i-i_0)^2 f = (\sum (i-i_0)^2) \frac{(\sum \sum f - kAM \sum (i-i_0)^2)}{N} + kAM \sum (i-i_0)^4 \quad (A.10)$$

Eliminando A entre A.9 A.10

$$\begin{aligned} & (\sum (i-i_0) f - \sum (i-i_0) \sum f) \cdot (N \sum (i-i_0)^4 - (\sum (i-i_0)^2)^2) = \\ &= (N \sum \sum (i-i_0)^2 f - \sum (i-i_0)^2 \sum \sum f) (N \sum (i-i_0)^3 - \sum (i-i_0) \sum (i-i_0)^2) \end{aligned} \quad (A.11)$$

Miembro I = I₁ · I₂

Miembro II = I₃ · I₄

De A.11 se obtiene:

$$I_1 = N \sum if - (\sum i) \sum \sum f \quad (A.12)$$

$$\begin{aligned} I_2 &= i_0^2 (4N \sum i^2 - 4(\sum i)^2) + i_0 (4 \sum i (\sum i^2) - 4N \sum i^3) + \\ &+ (N \sum i^4 - (\sum i^2)^2) \end{aligned} \quad (A.13)$$

$$I_3 = i_0 (2(\sum i) (\sum \sum f) - 2N \sum \sum if) + (N \sum \sum i^2 f - (\sum i)^2 \sum \sum f) \quad (A.14)$$

$$I_4 = i_0 (2(\sum i)^2 - 2N \sum i^2) + (N \sum i^3 - \sum i \sum i^2) \quad (A.15)$$

De la igualdad: I₁ I₂ = I₃ I₄

Resulta (2 4)

b) Coefficientes de (2.5)

$$a_{11} = 116(RR_{I\emptyset} D_1 - RR_{I_1} D_2)$$

$$a_{12} = 128(RR_{J\emptyset} D_1 - RR_{I\emptyset} RR_{J\emptyset} \cdot D_2)$$

$$a_{21} = 116(RR_{I\emptyset} D_3 - RR_{I\emptyset} RR_{J\emptyset} \cdot D_2)$$

$$a_{22} = 128(RR_{J\emptyset} D_3 - RR_{J_1} \cdot D_2)$$

$$b_1 = 116(RR_{I\emptyset} D_2 - 128D_1)$$

$$b_2 = 128(RR_{J\emptyset} D_2 - 116D_1)$$

$$RR_{I\emptyset} = \sum (i - i_0)^2$$

$$RR_{I_1} = \sum (i - i_0)^4$$

$$RR_{J\emptyset} = \sum (j - j_0)^2$$

$$RR_{J_1} = \sum (j - j_0)^4$$

$$D_1 = \sum \sum (i - i_0)^2 f_{ij}$$

$$D_2 = \sum \sum f_{ij}$$

$$D_3 = \sum \sum (j - j_0)^2 f_{ij}$$

c) Influencia de las rotaciones en los coeficientes de Fourier

Los coeficientes C_{jk} de Fourier vienen dados por la expresión:

$$C_{jk} = \iint \exp(-2\pi i(jx+ky))f(x,y)dx dy$$

Si expresamos en coordenadas polares la expresión anterior

$(x=r \cos\varphi; y=r \sin\varphi)$ resulta:

$$C_{jk} = \iint \exp(-\Psi r(j\cos\varphi + k\sin\varphi))f(r, \varphi) r dr d\varphi$$

$\Psi = 2\pi i$

Si se somete $f(r, \varphi)$ a una rotación arbitraria θ , se verificará:

$$\begin{aligned} C'_{jk} &= \iint \exp(-\Psi r(j\cos(\varphi + \theta) + k\sin(\varphi + \theta)))f(r, \varphi)rdr d\varphi = \\ &= \iint \exp(-\Psi r(j(\cos\varphi \cos\theta - \sin\varphi \sin\theta) + k(\sin\varphi \cos\theta + \cos\varphi \sin\theta))) \\ &\quad f(r, \varphi)rdr d\varphi = \\ &= \iint \exp(-\Psi r(\cos\varphi(j\cos\theta + k\sin\theta) + \sin\varphi(-j\sin\theta + k\cos\theta))) \\ &\quad f(r, \varphi)rdr d\varphi = C_{j\cos\theta + k\sin\theta, -j\sin\theta + k\cos\theta} \end{aligned}$$

6.1.2 INVARIANTES
=====

a) Invariantes frente a rotaciones

$$I_1 = m_{20} + m_{02}$$

$$I_2 = (m_{20} - m_{02})^2 + 4m_{11}^2$$

$$I_3 = (m_{30} - 3m_{12})^2 + (3m_{21} - m_{03})^2$$

$$I_4 = (m_{30} + m_{12})^2 + (m_{21} + m_{03})^2$$

$$I_5 = (m_{30} - 3m_{12})(m_{30} + m_{12})((m_{30} + m_{12})^2 - 3(m_{21} + m_{03})^2) + \\ + (3m_{21} - m_{03})(m_{21} + m_{03})(3(m_{30} + m_{12})^2 - (m_{21} + m_{03})^2)$$

$$I_6 = (m_{20} - m_{02})((m_{30} + m_{12})^2 - (m_{21} + m_{03})^2) + \\ + 4m_{11}(m_{30} + m_{12})(m_{21} + m_{03})$$

$$I_7 = (3m_{21} - m_{03})(m_{30} + m_{12})((m_{30} + m_{12})^2 - 3(m_{21} + m_{03})^2) - \\ - (m_{30} - 3m_{12})(m_{21} + m_{03})(3(m_{30} + m_{12})^2 - (m_{21} + m_{03})^2)$$

b) Invariantes frente a cambios de contraste

$$L_1 = (I_2)^{1/2} / I_1$$

$$L_2 = I_3 m_{00} / (I_1 I_2)$$

$$L_3 = I_4 / I_3$$

$$L_4 = (I_5)^{1/2} / I_4$$

$$L_5 = I_6 / (I_1 I_4)$$

$$L_6 = I_7 / I_5$$

6.1.3 RESULTADOS

=====



FIG. A.1. Componente Y de imagen problema.

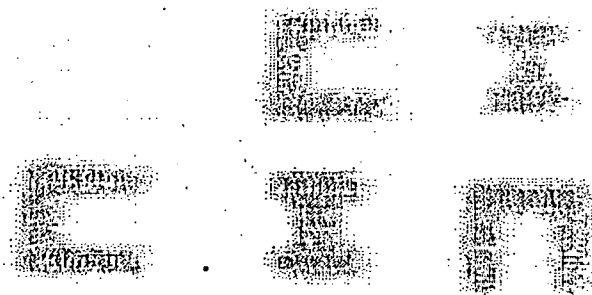


FIG. A.2. Componente B de imagen problema.



FIG. A.3. Componente R de imagen problema.



FIG. A.4. Componente Y máscara a reconocer.

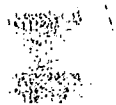


FIG. A.5. Componente R máscara a reconocer.



FIG. A.6. Componente B máscara a reconocer.

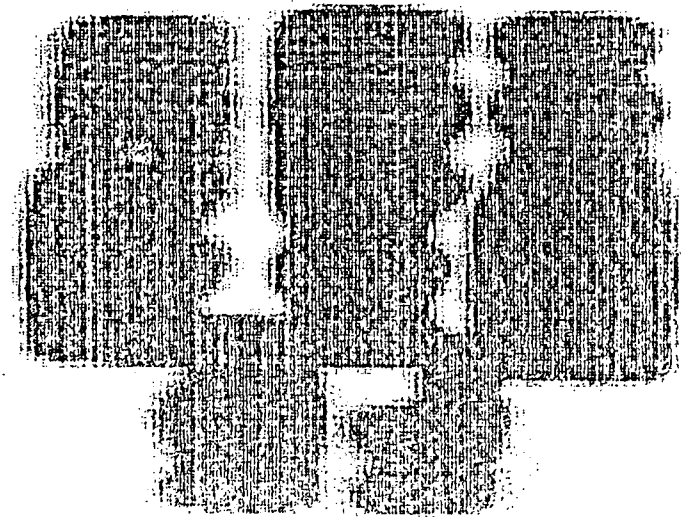


FIG. A.7. Resultado de una operación de enmascaramiento donde se aprecian las zonas de máxima semejanza.



FIG. A.8. Idem anterior umbralizada.

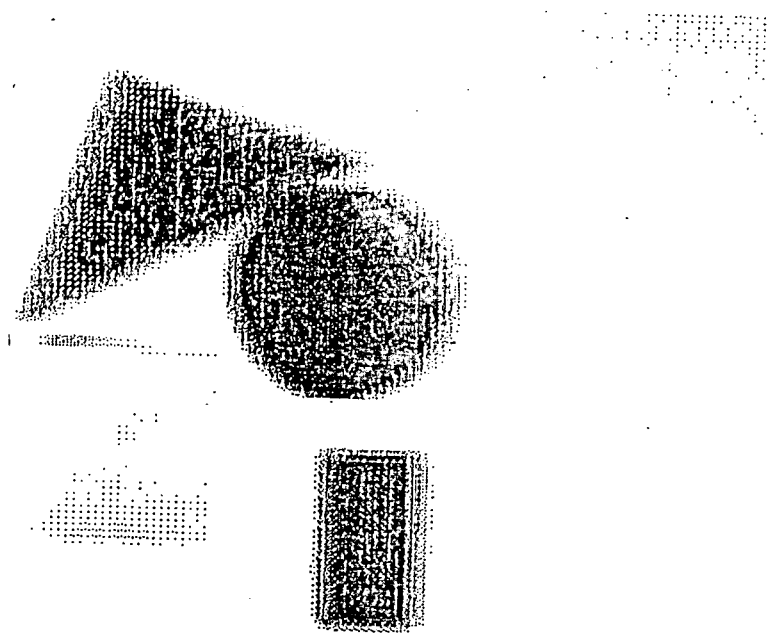


FIG. A.9. Componente Y imagen ejemplo.

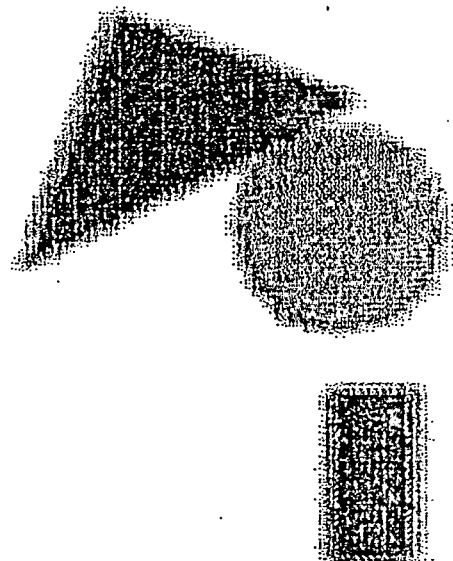


FIG. A.10. Componente R imagen ejemplo.

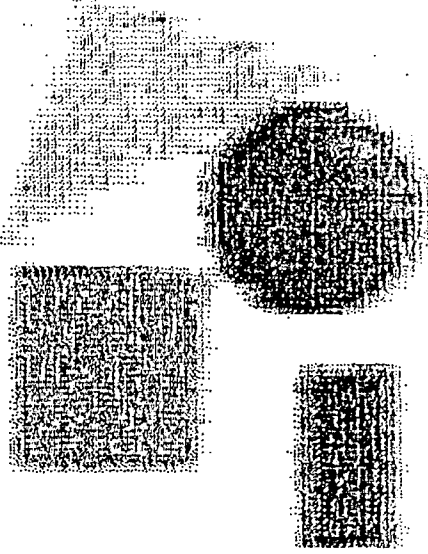


FIG. A.11. Componente B imagen ejemplo.

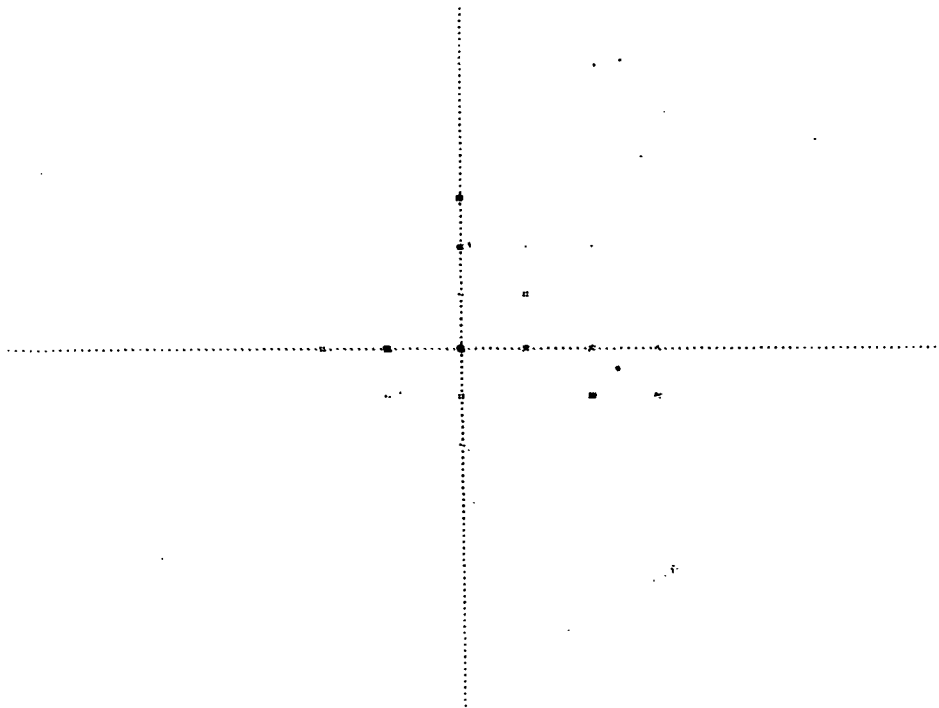


FIG. A.12. Clusters en el plano de luminancia nula.

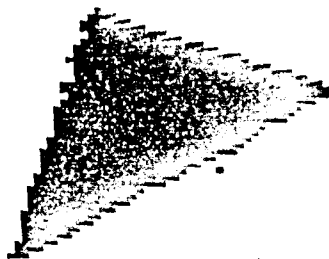


FIG. A.13. Cluster núm. 1.

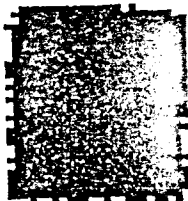


FIG. A.14. Cluster núm. 2.



FIG. A.15. Cluster núm. 3.

6.2 PROGRAMAS

=====

OPERACION: GENERA E IMPRIME UNA FUNCION $Z=Z(X,Y)$, DONDE
 X ES LA COORDENADA HORIZONTAL (DESDE 0 A 131.),
 Y ES LA COORDENADA VERTICAL (DESDE 0 A 119.) Y
 Z ES EL NIVEL DE GRIS (DESDE 0, NEGRO, A 36.,
 BLANCO).
 LA FUNCION $Z(X,Y)$ VIENE SUMINISTRADA POR LA
 SUBROUTINA PICFN.

. DATOS DE ENTRADA: NINGUNO

. DATOS DE SALIDA: FICHERO "PICTURE"

. FORMATO DE LLAMADA: .PICGN: PICGN
 JSR @.PICGN

. SUBROUTINAS UTILIZADAS:

.EXTN PIXEL ; COLOCA UN PIXEL EN PICTURE
 .EXTN IPIXEL ; INICIALIZA PICTURE
 .EXTN FPIXEL ; FINALIZACION DE PICTURE
 .EXTN IMPIC ; IMPRIME PICTURE
 .EXTN PICFN ; GENERA $Z=Z(X,Y)$

.TITL PICGN

.ENT PICGN

.NREL

PICGN: STA @SVAC3 ; DIRECCION DE RETORNO
 SUBZL 2,2 ; =1, NO INICIALICE "PICTURE"
 JSR @.PIXEL ; INICIALIZACION
 LDA 0,N120 ; NO. Y
 STA 0,CTRY ; INICIALIZA
 SUB 0,0 ; 0
 STA 0,Y ; INICIALIZA
 YLOOP: LDA 0,N132 ; NO. X
 STA 0,CTRX ; INICIALIZA
 SUB 0,0 ; 0
 STA 0,X ; INICIALIZA
 XLOOP: LDA 2,XYZTB ; PTR XYZ
 JSR @.PICFN ; CALCULA Z EN FUNCION DE X,Y
 JSR @.PIXEL ; COLOCA PUNTO
 ISZ X ; SIGUIENTE X
 DSZ CTRX ; ULTIMA X ?
 JMP XLOOP ; NUEVA X
 ISZ Y ; SIGUIENTE Y
 DSZ CTRY ; ULTIMA Y ?
 JMP YLOOP ; NUEVA Y
 JSR @.FPIXEL
 JSR @.IMPIC
 JMP @SVAC3 ; RETORNA

SVAC3: 0

.IPIXEL: IPIXEL
 .PIXEL: PIXEL

```

.FPIXEL:      FPIXEL
.IMPIC:       IMPIC
.PICFN:       PICFN

N132: 132.    ; NUMERO DE COLUMNAS DE PIXELS
N120: 120     ; NUMERO DE FILAS HORIZONTALES DE
              ; PIXELS

CTRX: 0       ; CONTADOR X
CTRY: 0       ; CONTADOR Y

XYZTB: .+1    ; PUNTERO DE LA TABLA XYZ

Z1: 0         ; COORDENADA HORIZONTAL (0 A 131.)
Y1: 0         ; COORDENADA VERTICAL (0 A 119.)
Z1: 0         ; TONO DE GRIS (0 A 36.)

.END

```

```

; IMPRESION DIRECTA DE FOTO
;
; OPERACION: LEE EL FICHERO "FOTO" SOBRE MEMORIA, CREA EL
;             FICHERO "PICTURE" CORRESPONDIENTE Y LO IMPRIME
;             CON ESCALADO DE SALIDA PROPORCIONAL AL DE
;             ENTRADA.
;
; DATOS DE ENTRADA: FICHERO "FOTO"
;
; DATOS DE SALIDA: FICHERO "PICTURE"
;
; SUBROUTINAS UTILIZADAS:
;     .EXTN  PICGN  ; GENERA E IMPRIME "PICTURE"
;
; NOTA: SI NO EXISTE "FOTO", RETORNA

.ENT  IMAGE,BLOCK

.NREL

; PUNTO INICIAL DE EJECUCION:

START: SUB     1,1      ; MASK A 0
      LDA     0,.FFOTO  ; BYTE PTER
      .SYSTEM
      .OPEN   1        ; ABRE "FOTO"
      JMP     RETURN   ; SI ERROR, RETORNA
      LDA     0,.IMAGE  ; WORD PTER
      ADD     0,0      ; BYTE PTER
      LDA     1,NBYTE
      .SYSTEM
      .RDS   1        ; LEE MEDIO "FOTO"
      JMP     RETURN
      .SYSTEM
      .CLOSE 1        ; CIERRA "FOTO"
      JMP     RETURN
      JSR    @.PICGN  ; CREA "PICTURE" Y LO IMPRIME
RETURN: .SYSTEM
      .RTN    ; RETORNA
      JMP    .+1    ; SI ERROR, PARA
      JMP    .      ; STOP CPU

.IMAGE: IMAGE  ; PUNTERO
.PICGN: PICGN

.FFOTO: .+1*2
      .TXTM  1
      .TXT   "FOTO" ; FICHERO CON TONOS DE GRIS ENTRE
                  ; 0 Y 255.

NWIMG = 128.*116      ; NO. DE WORDS QUE FORMAN
                  ; UNA IMAGEN COMPLETA

NBYTE: NWIMG

IMAGE: .BLK  NWIMG/2 ; MEDIA IMAGEN

```

```
BLOCK: .+1*2 ; BYTE PTER  
.BLK NWIMG/2 ; OTRA MEDIA IMAGEN (SE USA PARA  
; GENERAR PICTURE)  
  
.END START
```

```

; FINALIZACION DE LA SUBROUTINA PIXEL
;
; OPERACION: GRABA LA ZONA EN MEMORIA SOBRE "PICTURE" Y
;           LO CIERRA.
;
; DATOS DE ENTRADA:
; .EXTN  NBZN      ; NO. DE BYTES POR ZONA
; .EXTN  BLOCK     ; DIRECCION INICIAL DE LA ZONA
;           ; MEMORIA
; .EXTN  ZONA      ; NUMERO (DE 0 A 7) DE LA ZONA DE
;           ; "PICTURE" EN MEMORIA
;
; DATOS DE SALIDA: FICHERO "PICTURE"
;
; FORMATO DE LLAMADA: .FPIXE: FPIXE
;                   JSR      @.FPIXE
;
; SUBROUTINAS UTILIZADAS:
;                   ERMES    ; SUBROUTINA DE PRESENTACION

; .TITL  FPIXEL
; .ENT   FPIXEL
; .EXTD  ERMES
; .EXTD  MPYU
; .TXTM  1

; CANAL DE "PICTURE" = 0
CHPIC = 0
; .NREL

FPIXEL: STA      3,SVAC3 ; DIRECCION DE RETORNO
LDA     1,@.ZONA      ; ZONA A ESCRIBIR
LDA     2,.NBZN      ; NO. DE BYTES POR ZONA
JSR     @MPYU        ; ACC,ACC1 = BYTE PTER EN FILE
; .SYSTEM
; .SPOS  CHPIC      ; POSICIONA
JMP     ERR01
LDA     0,@.BLOCK     ; BYTE PTER
MOV     2,1          ; NO. DE BYTES POR ZONA
; .SYSTEM
; .WRS  CHPIC      ; ESCRIBE ULTIMA ZONA
JMP     ERR02
; .SYSTEM
; .CLOS  CHPIC     ; CIERRA "PICTURE"
JMP     ERR03
JMP     @SVAC3      ; RETORNA

ERR01: JSR     @ERMES ; PRESENTACION DE MENSAJE DE ERROR
; .TXT
; "ERROR SPOS<15>"
ERR02: JSR     @ERMES
; .TXT
; "ERROR WRS<15>"
ERR03: JSR     @ERMES

```

```
.TXT      "ERROR CLOSE<15>"
.NBZN: NBZN      ; NO. DE BYTES POR ZONA (=11880)
.ZONA: ZONA      ; ZONA EN MEMORIA
.BLOCK:  BLOCK   ; BYTE PTER DEL BUFFER DE ZONA
SVAC3:  0        ; DIRECCION DE RETORNO
.END
```



```

; COLOCA UN PIXEL DADAS LAS COORDENADAS X,Y Y EL TONO DE
; GRIS Z.

; OPERACION: GRABA EN "PICTURE" LOS CODIGOS DE IMPRESORA
; (TOMADOS DE "TABLA") CORRESPONDIENTES A LOS
; TONOS DE GRIS Z, CON LA FINALIDAD DE QUE
; SEAN IMPRESOS.
; DIVIDE "PICTURE" EN 8 ZONAS, MANTENIENDO UNA
; EN MEMORIA.

; DATOS DE ENTRADA:
; .EXTN  NLZN      ; NUMERO DE LINEAS POR ZONA
; .EXTN  NBZN      ; NUMERO DE BYTES POR ZONA
; .EXTN  NULN      ; NUMERO DE WORDS POR ZONA
; .EXTN  TABLA     ; TABLA DE TONOS DE GRIS
; .EXTN  BLOCK     ; DIRECCION INICIAL DE LA ZONA EN
;                  ; MEMORIA
;
; AC2      = XYZPTR
; XYZPTR: X        ; COORDENADA HORIZONTAL
;                  ; (DE 0 A 131.)
;          Y        ; COORDENADA VERTICAL
;                  ; (DE 0 A 119.)
;          Z        ; TONO GRIS
;                  ; (DE 0 A 36.)
;
; DATOS DE SALIDA: FICHERO "PICTURE"
;
; FORMATO DE LLAMADA: .PIXEL: PIXEL
;                   JSR      @.PIXEL
;
; SUBROUTINAS UTILIZADAS:      ERMES      ; MENSAJES DE ERRDR
;                   (MATH.LB)      ; LIB. MATEMAT.

; .TITL  PIXEL
; .ENT   PIXEL

; .EXTD  ERMES
; .EXTD  DIVI,MPYU
; .EXTN  MPY

; .TXTM  1

; CANAL DE PICTURE = 0
; NLINTABLA = 6

; DATOS: AC2 = PTER TABLA XYZ
; DESPLAZAMIENTOS EN LA TABLA XYZ:
X      =      0      ; 0 =< X =< 131. HORIZONTAL
Y      =      1      ; 0 =< Y =< 119. VERTICAL
Z      =      2      ; 0 =< Z =< 36.
; NIVEL DE GRIS:
; 0 => NEGRO, 36. => BLANCO

CHPIC  =      0

; .NREL

```

```

PIXEL: STA      3,SVAC3 ; DIRECCION DE RETORNO
        STA      2,XYZP ; PUNTERO DE LA TABLA XYZ
        LDA      1,Y,2  ; AC1 = Y
        LDA      2,.NLZN ; NO. DE LINEAS EN UNA ZONA
        JSR      @DIVI  ; AC1=ZPOS, AC0=LINEA
        LDA      3,@.ZONA ; ZONA ACTUAL EN MEMORIA
        STA      0,YPTR ; SAVE LINEA
        SUB#     3,1,SNR ; COMPARA ZPOS Y ZONA
        JMP      MEMPIX ; IGUALES
        STA      1,@.ZONA ; SAVE NUEVA ZONA
        MOV      3,1    ; ZONA ANTIGUA
        LDA      2,.NBZN ; NO. DE BYTES POR ZONA
        JSR      @MPYU  ; AC0,AC1=BYTE PTER EN FILE
        .SYSTEM
        .SPOS     CHPIC ; POSICIONA
        JMP      ERR01
        LDA      0,@.BLOCK ; BYTE PTER
        MOV      2,1    ; NO. DE BYTES POR ZONA
        .SYSTEM
        .WRS     CHPIC ; ESCRIBE ZONA ANTIGUA
        JMP      ERR02
        LDA      1,@.ZONA ; NUEVA ZONA
        JSR      @MPYU  ; AC0,AC1=BYTE PTER NUEVA ZONA EN FILE
        .SYSTEM
        .SPOS     CHPIC ; POSICIONA
        JMP      ERR01
        LDA      0,@.BLOCK ; BYTE PTER
        MOV      2,1    ; NO. DE BYTES POR ZONA
        .SYSTEM
        .RDS     CHPIC ; LEE NUEVA ZONA
        JMP      ERR03
MEMPIX: LDA      2,XYZP ; AC2 = PUNTERO TABLA XYZ
        LDA      0,Z,2  ; TOMA Z
        MOVZL    0,1    ; AC1 = 2*Z
        ADDZL    1,0    ; AC0 = 6*Z (NLINTABLA)
        LDA      1,@.TABLA ; BYTE PTER
        MOVZR    1,1    ; WORD PTER
        ADD      1,0    ; PTER PIXEL EN TABLA
        STA      0,TBPTR ; ALMACENA PUNTERO
        LDA      1,YPTR ; LINEA
        MOVZL    1,0    ; AC0 = 2*LINEA
        ADDZL    0,1    ; 6*LINEA
        LDA      0,X,2  ; TOMA X
        LDA      2,@.BLOCK ; BYTE PTER
        MOVZR    2,2    ; WORD PTER
        MOVZR    0,0    ; WORD PTER, CY=1 => BYTE MENOS
        ; SIGNIFICATIVO ES PIXEL
        ADD      2,0    ; OFFSET EN ZONA
        LDA      2,.NWLN ; NO. WORDS POR LINEA (<=66,)
        MPY     ; MANTIENE EL VALOR DEL CARRY
        MOV      1,2    ; AC2 = PTER WORD DE PIXEL EN ZONA
        LDA      1,MASK ; 377
        MOV      1,1,SZC ; CY=1 => BYTE MENOS SIGNIF.
        COM     1,1    ; MASK=177400 => BYTE MENOS SIGNIF.
        LDA      0,N6  ; 6
        STA      0,CTER ; 6 BYTES POR PIXEL

```

```

LOOP:  LDA      0,0,2    ; WORD EN ZONA
      AND      1,0      ; ENMASCARADA
      LDA      3,@TBPTR  ; WORD EN TABLA
      ISZ      TBPTR    ; SIGUIENTE CODIGO EN TABLA
      COM      1,1      ; COMPLEMENTA MASK
      AND      1,3      ; BORRA BYTE ANTERIOR
      COM      3,3
      AND      3,0
      ADC      3,0      ; AC3 OR AC0 => AC0; COLOCA
                        ; NUEVO CODIGO
      STA      0,0,2    ; ESCRIBE WORD EN ZONA
      COM      1,1      ; REPONE MASK
      LDA      3,.NWLN  ; INCREMENTO DEL PUNTERO EN LA
                        ; ZONA EN MEMORIA
      ADD      3,2      ; SIGUIENTE LINEA DENTRO PIXEL
      DSZ      CTER     ; FIN DEL BUCLE ?
      JMP      LOOP    ; NO, EJECUTA DE NUEVO
      JMP      @SVAC3   ; RETORNA

ERR01: JSR      @ERMES  ; SUBROUTINA DE MENSAJES DE ERROR
      .TXT      "ERROR SPOS<15>"
ERR02: JSR      @ERMES  ; SUBROUTINA DE MENSAJES DE ERROR
      .TXT      "ERROR WRS<15>"
ERR03: JSR      @ERMES  ; SUBROUTINA DE MENSAJES DE ERROR
      .TXT      "ERROR RDS<15>"

.NLZN: NLZN      ; NO. DE LINEAS POR ZONA (=15.)
.NBZN: NBZN      ; NO. DE BYTES POR ZONA (11880.)
.NWLN: NWLN      ; NO. DE WORDS POR LINEA (=66.)

.ZONA: ZONA      ; ZONA EN MEMORIA
.BLOCK: BLOCK    ; BYTE PTER DEL BUFFER DE ZONA
.TABLA: TABLA    ; BYTE PTER TABLA TONOS

MASK:  377      ; ELIMINA BYTE IZQUIERDO, CONSERVANDO
                ; EL DERECHO
N6:    6         ; NUMERO DE LINEAS HORIZONTALES POR
                ; PIXEL EN IMPRESORA

XYZP:  0        ; PTER TABLA XYZ
YPTR:  0        ; POSICION Y DENTRO ZONA
TBPTR:  0        ; PTER TABLA TONOS

CTER:  0        ; CONTADOR LOOP

SVAC3:  0       ; ADDRESS RETORNO

.END

```

```

; CALCULO DE TONO DE GRIS PARA IMPRESORA
;
; OPERACION: CALCULA Z=Z(X,Y) TONO DE GRIS COMPRENDIDO
;             ENTRE 0 Y 36, A PARTIR DE UNA IMAGEN EN
;             MEMORIA DE TONOS DE GRIS COMPRENDIDOS ENTRE
;             0 Y 377, ALMACENADA A PARTIR DE "IMAGE".
;             RETORNA EL MISMO AC2 DE ENTRADA.
;
; DATOS DE ENTRADA: PRIMERA MITAD DE "FOTO" A PARTIR DE
;                   IMAGE
;
; DATOS DE SALIDA: SI Y >= YMED, SEGUNDA MITAD DE "FOTO"
;                  A PARTIR DE IMAGE
;
;                   AC2 = XYZTAB
;                   XYZTAB: -
;                           -
;                           Z
;
; FORMATO DE LLAMADA: .PICFN:  PICFN
;                   JSR      @.PICFN
;
; SUBROUTINAS UTILIZADAS: MPYU    (MATH.LB)
;
; NOTA: FLAG HA DE INICIALIZARSE A 0 POR UN PROGRAMA
;       EXTERIOR, ANTES DE PROCESAR CADA NUEVA IMAGEN.
;
;
; .TITL  PICFN
; .ENT   PICFN,FLAG
; .EXTN  IMAGE    ; 1/2 FOTO, FLAG=0 => PRIMERA MITAD
; .EXTN  MPYU     ; SUBROUTINA DE MULTIPLICACION
; .NREL
;
PICFN: STA 3,SVAC3 ; DIRECCION DE RETORNO
      STA 2,XYZPTR ; PUNTERO DE TABLA XYZ
      LDA 0,0,2   ; X
      LDA 3,XMAX
      SUBZ# 3,0,SZC ; X < XMAX ?
      JMP ZZERO   ; X >= XMAX
      LDA 1,1,2   ; Y
      LDA 3,XMAX
      SUBZ# 3,1,SZC ; Y < YMAX ?
      JMP ZZERO   ; Y >= YMAX
      LDA 3,FLAG
      ADD 3,1     ; CORRIGE COORDENADA Y
      LDA 3,YMED
      SUBZ# 3,1,SNC ; Y >= YMED ?
      JMP CONTI   ; Y < YMED: CONTINUA NORMALMENTE
      NEG 3,3     ; -YMED
      STA 3,FLAG  ; (FLAG)--YMED
; .SYSTEM
; .GCHN
; .CMP
;
; TOMA EN AC2 UN CANAL
; SI ERROR, PARA

```

```

SUB      1,1      ; 0
LDA      0,,FFOTO      ; BYTE PTER DE "FOTO"
.SYSTM
.OPEN    77      ; ABRE "FOTO"
JMP      .        ; SI ERROR, PARA
LDA      1,NBYTE      ; MEDIO "FOTO"
SUB      0,0      ; 0
.SYSTM
.SPOS    77      ; POSICIONA EN LA MITAD DE "FOTO"
JMP      .        ; SI ERROR, PARA
LDA      0,,IMAGE      ; WORD PTER DE LA ZONA DE MEMORIA
ADD      0,0      ; BYTE PTER
.SYSTM
.RDS     77      ; LEE SEGUNDA MITAD DE "FOTO"
JMP      .        ; SI ERROR, PARA
.SYSTM
.CLOSE   77      ; CIERRA "FOTO"
JMP      .        ; SI ERROR, PARA
LDA      2,XYZPTR
LDA      0,0,2      ; X
LDA      1,1,2      ; Y
CONTI: MOVS    1,1      ; Y*400
MOVZR    1,2      ; Y*200
ADD      0,2      ; X+200*Y
LDA      0,,IMAGE
ADD      0,2      ; ADDRESS (X,Y)
LDA      1,0,2      ; Z (ENTRE 0 Y 377)
LDA      2,N37
JSR      @MPYU      ; AC1 = Z*400 (Z ENTRE 0 Y 36.)
LDA      0,MASK
AND      0,1      ; ELIMINA "DECIMALES"
MOVS    1,1      ; Z
LDA      2,XYZPTR
STA      1,2,2      ; GRABA Z
JMP      @SVAC3      ; RETORNA

ZZERO: LDA      2,XYZPTR
SUB      0,0      ; Z=0 SI X 0 Y EXCEDEN LOS LIMITES
STA      0,2,2      ; GRABA Z
JMP      @SVAC3      ; RETORNA

SVAC3: 0          ; DIRECCION DE RETORNO

XYZPTR: 0          ; PUNTERO EN TABLA X,Y,Z

N37: 37.          ; NUMERO DE POSIBLES TONOS DE GRIS
; EN IMPRESORA

MASK: 177400      ; MASCARA DE LA PARTE ENTERA DE Z

.TXTM    1
.FFOTO:  +1*2
.TXT     "FOTO"      ; FICHERO EN EL QUE SE ENCUENTRAN
; LOS PIXELS DE VALORES ENTRE 0 Y 255.

YMED: 116./2      ; VALOR MEDIO DE LA COORDENADA
; VERTICAL Y DENTRO DE "FOTO"

```

```

#BYTE: 116.*128.      ; NUMERO DE BYTES DE LA MITAD
                        ; DE "FOTO"

FLAG: 0               ; CORRECTOR DE Y EN MEMORIA

                        ; VALORES POSIBLES:
                        ;      0 --> PRIMERA MITAD DE "FOTO"
                        ;      -(YMED) --> SEGUNDA MITAD

XMAX: 128.           ; VALOR MAXIMO DE LA COORDENADA X
YMAX: 116.           ; VALOR MAXIMO DE LA COORDENADA Y

.IMAGE IMAGE         ; DIRECCION DE LA POSICION INICIAL
                        ; EN MEMORIA DONDE SE ALMACENA
                        ; MEDIO FICHERO "FOTO"]

.END

```

```

; SUBROUTINA DE INICIALIZACION DE LA SUBROUTINA PIXEL.
; OPERACION: LEE "TABLA" DE NIVELES DE GRIS,
;             INICIALIZA "PICTURE" A BLANCOS SI AC2=0,
;             LEE LA ZONA 0, INICIALIZA ZONA=0
;
; DATOS DE ENTRADA: AC2
;
; DATOS DE SALIDA: TABLA DE TONOS
;                 ZONA 0 DE "PICTURE"
;
; FORMATO DE LLAMADA: .IPIXEL: IPIXEL
;                   JSR      @.IPIXEL
;
; SUBROUTINAS UTILIZADAS: ERMES
;
; NOTA: "PICTURE" QUEDA ABIERTO.
;
;

```

```

.TITL  PIXEL
.EXTN  BLOCK
.ENT   IPIXEL
.ENT   NLZN,NBZN,NMLN
.ENT   TALBA,ZONA
.EXTD  ERMES
.TXTM  1

```

```

; NO. DE LINEAS EN TABLA = 6
; NO. DE TONOS DE GRIS = 37.
; CANAL DE "PICTURE" = 0

```

```

CHPIC  =      0      ; CANAL DE PICTURE
NLZN   =      15.    ; NO. DE LINEAS DE PIXELS POR ZONA
NBZN   =     132.*90. ; =11880., NO. DE BYTES
                          ; POR ZONA
NMLN   =      66.    ; NO. DE WORDS POR LINEA DE PUNTOS

```

```
.NREL
```

```
ZONA:  0      ; NO. DE LA ZONA EN MEMORIA
```

```
TABLA: .TABLA*2.    ; BYTE PTER TABLA TONOS DE GRIS
.BLOCK: BLOCK      ; NO. DE WORDS POR LINEA DE PUNTOS
```

```

IPIXEL: STA      3,SVAC3 ; DIRECCION DE RETORNO
SUB      1,1      ; MASK A 0
LDA      0,TABL.  ; BYTE PTER FILENAME
.SYSTM
.ROPEN   CHTAB    ;ABRE FICHERO "TABLA"
JMP      ERR01
LDA      0,TABLA ; BYTE PTER TABLA
LDA      1,NETABLA ; NO. DE BYTES
.SYSTM

```

```

.RDS      CHTAB      ; LEE TABLA TONOS DE GRIS
JMP      ERR02
.SYSTM
.CLOSE    CHTAB      ; CIERRA FICHERO
JMP      ERR03
SUB      1,1        ; AC1 = 0
LDA      0,PICTURE   ; BYTE PTER FILENAME
.SYSTM
.OPEN     CHPIC      ; SE DEJA ABIERTO
JMP      ERR04
LDA      0,B.BLOCK   ; BYTE PTER
LDA      1,.NBZN     ; NO. DE BYTES POR ZONA
MOV      2,2,SZR     ; INICIALIZA PICTURE SI AC2 = 0
JMP      NOINIT      ; NO INICIALIZA
LDA      3,BLANCO    ; 2 BYTES BLANCOS
MOVZR    1,1        ; WORDS POR ZONA
NEG      1,1        ; -NUMERO DE WORDS POR ZONA
MOVZR    0,2        ; WORD PTER
BLOOP:   STA      3,0,2 ; ALMACENA BLANCOS EN ZONA
INC      2,2        ; PTER
INC      1,1,SZR    ; CTER
JMP      BLOOP      ; TODA LA ZONA
LDA      1,.NBZN     ; NO. DE BYTES EN ZONA
ADCZL    2,2        ; -2
ADDZL    2,2        ; -2, CTER ZONAS
ZLOOP:   .SYSTM
.WRS     CHPIC      ; ZONAS A BLANCO
JMP      ERR05
INC      2,2,SZR    ; CUENTA
JMP      ZLOOP      ; EJECUTA DE NUEVO
JMP      NOREAD     ; NO HACE FALTA LEER
NOINIT:  .SYSTM
.RDS     CHPIC      ; LEE ZONA 0
JMP      ERR02
NOREAD:  SUB      0,0 ; 0
STA      0,ZONA     ; LA ZONA INICIAL ES 0
JMP      @SVAC3    ; RETORNA

ERR01:   JSR      @ERMES
.TXT     "IPIXEL: ERROR ROPEN<15>"
ERR02:   JSR      @ERMES
.TXT     "IPIXEL: ERROR RDS<15>"
ERR03:   JSR      @ERMES
.TXT     "IPIXEL: ERROR CLOSE<15>"
ERR04:   JSR      @ERMES
.TXT     "IPIXEL: ERROR OPEN<15>"
ERR05:   JSR      @ERMES
.TXT     "IPIXEL: ERROR WRS<15>"

NETABLA: 37,*6*2      ; NO. DE BYTES DE TABLA
CHTAB    =           0 ; CANAL DE TABLA

.NBZN:   NBZN       ; NUMERO DE BYTES POR CADA ZONA
          ; POR CADA ZONA DE PICTURE

BLANCO= 1B1+1B9+0    ; CODIGO BLANCO PRINTRONIX

```



```

TABL.: .+1*2
      .TXT  "TABLA" ; FICHERO DE TABLA DE
                ; CODIGOS DE IMPRESORA DE
                ; LOS 37. TONOS DE GRIS

.PICTURE: .+1*2
          .TXT  "PICTURE" ; FICHERO DE CODIGOS DE
                        ; IMPRESORA QUE COMPONEN
                        ; UNA IMAGEN (DIVIDIDA EN
                        ; 8 ZONAS DE NBZN BYTES)

SVAC3: 0      ; DIRECCION DE RETORNO

.TABLA: .BLK  37.*6 ; ALMACENAMIENTO DEL
                  ; FICHERO "TABLA"

.END

```

```

; OPERACION: ADQUIERE A TRAVES DEL DIGITALIZADOR DE
; IMAGENES 260A. UNA PORCIÓN DE LA IMAGEN
; TRANSMITIDA POR LA CAMARA, ESPECIFICADA
; POR LOS DATOS DE ENTRADA, QUE PERMITEN
; DEFINIR LA POSICIÓN, NUMERO DE PIXELS Y
; RESOLUCION DE LA IMAGEN A ADQUIRIR.
;
;

```

```

; DATOS DE ENTRADA:

```

```

.ENT      X0          ; COORDENADA HORIZONTAL DEL
                    ; LADO IZQUIERDO DE LA
                    ; IMAGEN A ADQUIRIR
                    ; (ENTRE 0 Y 511.)
.ENT      Y0          ; COORDENADA VERTICAL
                    ; DEL LADO SUPERIOR
                    ; (ENTRE 0 Y 579.)
.ENT      NX          ; NO. DE COLUMNAS
.ENT      NY          ; NO. DE LINEAS HORIZ.
.ENT      INCX        ; DISTANCIA X ENTRE DOS
                    ; PUNTOS SUCESIVOS
.ENT      INCY        ; IDEM PARA Y

```

```

; DATOS DE SALIDA: IMAGEN DIGITALIZADA A PARTIR DE
; LA DIRECCION "IMAGE"
; CY=1 <=> ERROR EN LOS DATOS DE ENT.
;
;

```

```

; FORMATO DE LLAMADA: .GZONA:  GZONA
;                      JSR      @.GZONA
;
;

```

```

; SUBROUTINAS UTILIZADAS: MPY ; (MATH.LB)
;
;

```

```

; NOTA: EL DIGITALIZADOR DEBERA TENER EL INTERRUPTOR
; EN POSICION "RUN"
;
;

```

```

.TITL     GZONA
.EXTN     IMAGE,MPY
.ENT      GZONA
.NREL

```

```

GZONA: STA      3,SVAC3 ; ALMACENA RETORNO
LDA      0,NX
LDA      1,XMAX ; (128.)
ADCZ     1,0,SZC
JMP      @SVAC3 ; RET SI NX >= 128.,
                    ; DEVUELVE CY=1
ADD      0,1 ; NX-1
LDA      2,INCX
LDA      0,X0
MPY      ; AC1=(NX-1)*INCX+X0
LDA      0,HMAX ; (512.)
ADCC     1,0,SZC
JMP      @SVAC3 ; RET SI AC1 >= 512.
                    ; DEVUELVE CY=1
LDA      0,NY
MOVZR    0,0,SZC

```

```

JMP      @SVAC3   ; RET SI NY IMPAR,
           ; DEVUELVE CY=1

MOVZL   0,1
LDA     2,INCY
LDA     0,Y0
SUB     2,0       ; Y0-INCY
MPLY    ; AC1=NY*INCY+Y0-INCY=
           ; =(NY-1)*INCY+Y0

LDA     0,YMAX   ; (580.)
ADDC   1,0,SZC
JMP     @SVAC3   ; RET SI AC1 >= 580.,
           ; DEVUELVE CY=1

MOVZR#  2,2,SZC  ; SKIP SI CASO INCY PAR
JMP     IMPAR    ; CASO IMPAR

PAR:    LDA     0,NY
        STA     0,CNY   ; INICIALIZA
        LDA     0,INCY
        STA     0,CINCY ; INIC
        LDA     1,0
        LDA     3,MASKY ; MASK COORD. Y
        ADD     3,1
        STA     1,CY    ; INIC. AC1 Y CY
        LDA     0,X0
        LDA     3,MASKX ; MASK COORD. X
        ADD     3,0
        STA     0,CX    ; INIC. CX (VARIA)
        LDA     2,.IMAGE
        STA     2,PTER  ; INIC. AC2 Y PTER (VARIA)
        LDA     0,NX
        STA     0,PCTER ; INIC. PCTER
        LDA     0,XMAX  ; AC0=INC. PTER
PLOOP:  JSR     GTCOL   ; TOMA UNA COLUMNA
           ; DE LA IMAGEN

        LDA     3,CX
        LDA     2,INCX
        ADD     3,2     ; NUEVO CX
        STA     2,CX   ; NUEVO PTER
        LDA     2,PTER ; AC2=PTER
        LDA     1,CY   ; AC1=CY
        DSZ    PCTER  ; CUENTA COLUMNAS
        JMP     PLOOP
        MOVZ   0,0    ; O.K., CY=0
        JMP     @SVAC3 ; RETORNA

SVAC3:  0           ; ALMACENAMIENTO TEMPORAL
           ; DE LA DIRECCION DE RETORNO

XMAX:   129.       ; NUMERO MAXIMO DE PUNTOS
           ; POR LINEA HORIZONTAL
           ; ADQUIRIBLES CON ESTA
           ; SUBROUTINA

YMAX:   115.       ; IDEM POR COLUMNA
HMAX:   512.       ; NUMERO DE PIXELS DISTINTOS
           ; QUE EL DIGITALIZADOR
           ; PERMITE ADQUIRIR POR
           ; LINEA HORIZONTAL

```

```

VMAX: 580. ; IDEM POR LINEA VERTICAL

CO: 0
YO: 0
NO: 0
NI: 0
INCX: 0
INCY: 0

.IMAGE: IMAGE

PCTER: 0

IMPAR: LDA 0,NY
MOVZR 0,0
STA 0,CNY ; INIC.
LDA 0,INCY
MOVZL 0,0 ; 2*INCY
STA 0,CINCY ; INIC.
LDA 1,Y0
LDA 3,MASKY
ADD 3,1
STA 1,CY ; INIC. AC1 Y CY
LDA 0,X0
LDA 3,XMAX
ADD 3,0
STA 0,CX ; INIC. CX (VARIA)
LDA 2,.IMAGE
STA 2,PTER ; INIC. AC2 Y PTER (VARIA)
LDA 0,NX
STA 0,PCTER ; INIC.
LDA 0,XMAX
MOVZL 0,0 ; AC0 = INC. PTER
ILOOP: JSR GTCOL ; TOMA UNA MEDIA COLUMNA
; DE UN CAMPO DE LA IMAGEN

LDA 3,XMAX
LDA 2,PTER
ADD 2,2 ; PTER SEGUNDA MEDIA COLUMNA
LDA 3,INCY
LDA 1,CY
ADD 3,1 ; Y INICIAL SEGUNDA
; MEDIA COLUMNA
JSR GTCOL ; TOMA SEGUNDA MEDIA
; COLUMNA DEL OTRO CAMPO,
; COMPLETANDO UNA COLUMNA
; POR CUADRO.

LDA 3,CX
LDA 2,INCX
ADD 3,2 ; NUEVO CX
STA 2,CX
ISZ PTER ; NUEVO PTER
LDA 2,PTER ; AC2=PTER
LDA 1,CY ; AC1=CY
DSZ PCTER ; CUENTA COLUMNAS
JMP ILOOP
MOVZ 0,0 ; O.K. => CY=0
JMP @SVAC3 ; RETORNA

```

```

; TOMA UNA COLUMNA
; DATOS: CNY,CINCY,CX, AC1=CY, AC2=PTER EN IMAGEN.
;          AC0=INC. PTER

```

```

0
GTCOL: STA 3,-1 ; ALMACENA DIR. RETORNO
      LDA 3,CX
      DOA 3,56 ; ENVIA X
      LDA 3,CNY
      STA 3,CTER
CLOOP: DOA 1,56 ; ENVIA Y
      LDA 3,CINCY
      ADD 3,1 ; NUEVA Y
      SKPDH 56
      JMP -1 ; BUCLE DE ESPERA A
           ; QUE EL DIGITALIZADOR
           ; REALICE LA ADQUISICION
      DIA 3,56 ; TOMA EL TONO DE GRIS !
      STA 3,0,2 ; ALMACENA EN IMAGEN
      ADD 0,2 INC. PTER
      DSZ CTER
      JMP CLOOP
      JMP @GTCOL-1 ; RETORNA

```

```

CNY: 0
CINCY: 0
CX: 0
CY: 0

```

```

CTER: 0 ; CONTADOR
PTER: 0 ; PUNTERO

```

```

MASKN: 1B3+1B5 ; LATCH ONLY + X CODE
MASKY: 0B3+2B5 ; LATCH & OPERATE + Y CODE

```

```

.END

```

```

RETURN:      SUB      1,1
            LDA      0,.FOTO ; BYTE PTER
            .SYSTEM
            .OPEN    0      ; ABRE "FOTO"
            JMP      CREAR  ; SI ERROR, LO CREA
            LDA      0,.IMAGE
            ADD      0,0     ; BYTE PTER FILENAME
            LDA      1,NBYTE ; IMAGEN COMPLETA
            .SYSTEM
            .WRS     0      ; GRABA EN "FOTO" LA
                        ; IMAGEN ADQUIRIDA

            JMP      .
            .SYSTEM
            .RESET   ; CIERRA FICHEROS
            JMP      .
            .SYSTEM
            .RTN     ; RETORNA
            JMP      .      ; SI ERROR, PARA
            JMP      .      ; STOP

CREAR:      .SYSTEM
            .CRAND   ; CREA EL FICHERO "FOTO"
                        ; Y ENTRA DE NUEVO
            JMP      .      ; SI ERROR, PARA
            JMP      RETURN ; VUELVE A ABRIR "FOTO"

DBIN:      .DBIN
BIND:      .BIND

            .TXTM    0

.CR:      .TXT      "<15>"
.LF:      .TXT      "<12>"
.ESC:     .TXT      "<22>"
.R:       .TXT      "R"

.IMAGE:    IMAGE

.GZONA:    GZONA    ; SUBROUTINA QUE TOMA
                        ; UNA ZONA DE LA IMAGEN

.X0:      X0
.Y0:      Y0
.INCX:    INCX
.INCY:    INCY
.NX:      NX
.NY:      NY

            .TXTM    1

.TTO:     .+1*2
            .TXT      "#TTO" ; NOMBRE ASOCIADO A LA
                        ; PANTALLA DE LA CONSOLA

: MENSAJE DE PETICION DE PARAMETROS:
.MSG:     .+1*2
            .TXT      "<15><12>X0, Y0, INCX, INCY, NX, NY ?<15><12>"

```

```
.NMSG: 32.      ; NUMERO DE CARACTERES  
.FOTO: .+1*2  
      .TXT      "FOTO"  
NBYTE: 128.*116.*2      ; NO. DE BYTES IMAGEN  
IMAGE: .BLK      128.*116      ; IMAGEN COMPLETA  
      .END      START
```

```

; IMPRIME "PICTURE"
;
; OPERACION: IMPRIME LOS CODIGOS DE PUNTOS ALMACENADOS EN EL
;           FICHERO "PICTURE"
;
; DATOS DE ENTRADA:
;   .EXTN   BLOCK   ; DIRECCION DEL COMIENZO DEL
;                   ; AREA CAPAZ PARA UNA DE LAS
;                   ; NZON ZONAS DE "PICTURE"
;   FICHERO "PICTURE" (EL FORMATO HA DE SER DE 66.
;   WORDS CONTENIENDO LOS CODIGOS DE IMPRESORA DE
;   132.*6 PUNTOS POR LINEA HORIZONTAL).
;
; DATOS DE SALIDA: NINGUNO
;
; FORMATO DE LLAMADA: .IMPIC: IMPIC
;                   JSR      @.IMPIC
;
; SUBROUTINAS UTILIZADAS: ERMES   ; PRESENTA MENSAJES DE ERROR
;                   (MATH.LB) ; LIBRERIA MATEMATICA

```

```

.TITL   IMPIC
.ENT    IMPIC
.EXTD   ERMES
.TXTM   1
.NREL

```

```

ERR01: JSR      @ERMES   ; SUBROUTINA DE PRESENTACION DE
;                   ; DE MENSAJES DE ERROR
.TXT    "ERROR GCHN<15>"
ERR02: JSR      @ERMES
.TXT    "ERROR ROPEN<15>"
ERR03: JSR      @ERMES
.TXT    "ERROR RDS<15>"
ERR04: JSR      @ERMES
.TXT    "ERROR WRS<15>"
ERR05: JSR      @ERMES
.TXT    "ERROR OPEN $LPT<15>"
ERR06: JSR      @ERMES
.TXT    "ERROR CLOSE $LPT<15>"
ERR07: JSR      @ERMES
.TXT    "ERROR CLOSE PICTURE<15>"

```

```

IMPIC: STA      3, .RETN ; ALMACENA RETORNO
.SYSM
.GCHN   ; AC2 = CANAL LIBRE
JMP     ERR01
STA     2, CHPIC ; CANAL DE PICTURE
LDA     0, .PICTURE ; BYTE PTER
SUB     1, 1 ; 0
.SYSM
.ROPEN  77 ; ABRE PICTURE
JMP     ERR02
.SYSM

```



```

.GCHN      ; AC2 = CANAL LIBRE
JMP        ERR01
STA        2,CHLPT ; CANAL DE IMPRESORA
LDA        0,.LPT  ; BYTE PTER
SUB        1,1      ; 0
.SYSTM
.OPEN      77      ; ABRE IMPRESORA
JMP        ERR05
LDA        0,.NZON ; NO. DE ZONAS EN QUE SE DIVIDE
              ; EL FICHERO PICTURE (INICIALIZA)
STA        0,ZONCTR
ZONLOOP:   LDA        0,@.BLOCK      ; PRINCIPIO DE LA ZONA
              ; EN MEMORIA
LDA        1,.NBYT ; NO. DE BYTES QUE LA COMPONEN
LDA        2,CHPIC ; CANAL DE PICTURE
.SYSTM
.RDS       77      ; LEE UNA ZONA
JMP        ERR03
LDA        0,.NLIN ; NO. DE LINEAS POR ZONA
STA        0,LINCTR ; INICIALIZA CONTADOR DE LINEAS
LDA        0,@.BLOCK
STA        0,.PTR  ; INICIALIZA
LDA        2,CHLPT
LINLOOP:   SUBZL     1,1      ; 1
LDA        0,.CH
.SYSTM
.WRS       77      ; PONE EN MODO PLOT
JMP        ERR04
LDA        1,.N132
LDA        0,.PTR
.SYSTM
.WRS       77      ; ENVIA LINEA HORIZONTAL DE PUNTOS
JMP        ERR04
ADD        1,0      ; DIRECCION DE LA SIGUIENTE LINEA
STA        0,.PTR  ; ACTUALIZA PUNTERO
SUBZL     1,1      ; 1
LDA        0,.LF
.SYSTM
.WRS       77      ; AVANZA UNA LINEA, IMPRIMIENDO LA
              ; QUE SE ACABA DE ENVIAR
JMP        ERR04
DSZ        LINCTR  ; ULTIMA LINEA ?
JMP        LINLOOP ; NUEVA LINEA
DSZ        ZONCTR  ; ULTIMA ZONA ?
JMP        ZONLOOP ; NUEVA ZONA
LDA        2,CHPIC
.SYSTM
.CLOSE     77      ; CIERRA PICTURE
JMP        ERR06
LDA        2,CHLPT
.SYSTM
.CLOSE     77      ; CIERRA IMPRESORA
JMP        ERR07
JMP        @.RETN  ; RETORNA

.RETN:    0          ; DIRECCION DE RETORNO

```

```

CHPIC: 0          ; CANAL DE PICTURE
CHLPT: 0          ; CANAL DE IMPRESORA

.NZON: 8.         ; NO. DE ZONAS EN QUE SE DIVIDE PICTURE
.NLIN: 90.        ; NO. DE LINEAS POR ZONA
.NBYT: 90.*132.   ; NO. DE BYTES POR ZONA
.N132: 132.       ; NO. DE CARACTERES POR LINEA
                  ; CONTIENIENDO CADA UNO INFORMACION
                  ; SOBRE LA POSIBLE IMPRESION DE 6
                  ; PUNTOS

.CH05: .+1*2
        .TXT      "<5>"   ; CODIGO QUE PONE LA IMPRESORA
                  ; PRINTRONIX EN MODO PLOTTER
.LF:    .+1*2
        .TXT      "<12>"  ; CODIGO DE LINE-FEED (AVANCE DE
                  ; LINEA)

ZONCTR: 0         ; CONTADOR DE ZONAS
LINCTR: 0         ; CONTADOR DE LINEAS DENTRO DE
                  ; UNA ZONA

.PICTURE: .+1*2
        .TXT      "PICTURE" ; FICHERO QUE CONTIENE LOS
                  ; CODIGOS A IMPRIMIR
.LPT:    .+1*2
        .TXT      "$LPT"   ; NEMOTECHNICO EMPLEADO POR EL
                  ; SISTEMA OPERATIVO PARA DESIGNAR
                  ; LA IMPRESORA

.BLOCK: BLOCK     ; ADDRESS DEL BYTE PTER DE LA ZONA
                  ; EN MEMORIA

.END

```

```

; OPERACION: ADQUIERE Y ALMACENA EN EL FICHERO
; "FOTO", POR MEDIO DEL APARATO
; DIGITALIZADOR DE IMAGENES 260A,
; UNA PORCION DE LA IMAGEN TRANSMITIDA
; POR LA CAMARA, ESPECIFICADA POR LOS
; DATOS ENTRADOS DESDE EL TECLADO,
; CON LOS QUE SE PUEDEN DEFINIR LA
; POSICION, NUMERO DE PIXELS Y
; RESOLUCION DE LA IMAGEN A ADQUIRIR.
;
; DATOS DE ENTRADA: DESDE TECLADO, SON LOS
; SIGUIENTES:
;
;         X0 = CORRDENADA HORIZONTAL
;           DEL LADO IZQUIERDO DE
;           LA IMAGEN A ADQUIRIR
;           (ENTRE 0 Y 511.)
;         Y0 = COORDENADA VERTICAL DEL
;           LADO SUPERIOR (ENTRE
;           0 Y 579.)
;
;         NX = NUMERO DE COLUMNAS
;         NY = NUMERO DE LINEAS
;           HORIZONTALES DE PUNTOS
;         INCX = DISTANCIA X ENTRE DOS
;           PUNTOS SUCESIVOS
;         INCY = IDEM PARA Y
;
;         SI SE PULSA "R", RETORNA,
;         GRABANDO PREVIAMENTE LA
;         ULTIMA IMAGEN ADQUIRIDA
;         SI SE PULSA "<ESC>", PIDE DE
;         NUEVO LOS PARAMETROS
;
; DATOS DE SALIDA: FICHERO "FOTO" CONTENIENDO LOS
; NIVELES DE GRIS DE LA IMAGEN
; ADQUIRIDA POR EL DIGITALIZADOR.
;
; SUBROUTINAS UTILIZADAS:
;         MPY, .BIND, .DBIN ; (MATH, LB)
;
; NOTA: EL DIGITALIZADOR DEBERA TENER EL INTERRUPTOR
; EN POSICION "RUN"
;
; .EXTN   GZONA
; .EXTN   X0, Y0, NX, NY, INCX, INCY
;
; .ENT    .GTCH, .PTCH      ; NECESARIOS PARA
;                          ; .DBIN Y .BIND
;
; .ZREL
;
; .GTCH:  GETCH
; .PTCH:  PUTCH
;
; .HREL
;
START:  SUB    1, 1      ; 0
        LDA    0, TTD   ; BYTE PTER

```

```

        .SYSTEM
        .OPEN      0          ; ABRE PANTALLA
        JMP
        LDA        0, .MSG
        LDA        1, .NMSG
        .SYSTEM
        .MRS       0          ; PRESENTA MENSAJE EN PANTALLA
                                ; SOLICITANDO LOS PARAMETROS
                                ; DE LA ZONA A ADQUIRIR

        JMP
        .SYSTEM
        .CLOSE     0          ; CIERRA PANTALLA
        JMP
        JSR        @DBIN      ; ACT=VALOR TECLEADO
        STA        1, @X0
        JSR        TEST       ; "R" O "<ESC>" ?
        JSR        @DBIN
        STA        1, @Y0
        JSR        TEST
        JSR        @DBIN
        STA        1, @INCX
        JSR        TEST
        JSR        @DBIN
        STA        1, @INCY
        JSR        TEST
        JSR        @DBIN
        STA        1, @NX
        JSR        TEST
        JSR        @DBIN
        STA        1, @NY
        JSR        TEST
        JSR        @GZONA ; TOMA LA ZONA ESPECIFICADA
        JMP        START     ; VUELVE A PEDIR DATOS.
                                ; (ESTO PERMITE IR HACIENDO
                                ; VARIAS PRUEBAS, HASTA
                                ; ADQUIRIR LA ZONA DESEADA)

        0          ; DIRECCION DE RETORNO
GETCH:  STA        3, -1      ; ALMACENA RETORNO
        .SYSTEM
        .GCHAR     ; TOMA CARACTER DE TECLADO
        JMP
        JMP        +2        ; ECO DE LO TECLEADO EN
                                ; LA PANTALLA
PUTCH:  STA        3, GETCH-1 ; ALMACENA RETORNO
        .SYSTEM
        .PCHAR     ; PRESENTA CARACTER
        JMP
        JMP        @GETCH-1   ; RETORNA

TEST:   LDA        2, .ESC
        SUBZ#      2, 0, SNR ; COMPRUEBA SI <ESC>
        JMP        START     ; LOOP SI <ESC>
        LDA        2, .R
        SUBZ#      2, 0, SZR ; COMPRUEBA SI "R"
        JMP        0, 3      ; NO, O.K., RETORNA
; SI "R" RETORNA

```

```

RETURN:      SUB      1,1
             LDA      0,.FOTO ; BYTE PTER
             .SYSTEM
             .OPEN    0      ; ABRE "FOTO"
             JMP      CREAR  ; SI ERROR, LO CREA
             LDA      0,.IMAGE
             ADD      0,0    ; BYTE PTER FILENAME
             LDA      1,NBYTE ; IMAGEN COMPLETA
             .SYSTEM
             .WRS     0      ; GRABA EN "FOTO" LA
                               ; IMAGEN ADQUIRIDA

             JMP      .
             .SYSTEM
             .RESET   ; CIERRA FICHEROS
             JMP      .
             .SYSTEM
             .RTN     ; RETORNA
             JMP      .      ; SI ERROR, PARA
             JMP      .      ; STOP

CREAR:      .SYSTEM
             .CRAND   ; CREA EL FICHERO "FOTO"
                               ; Y ENTRA DE NUEVO
             JMP      .      ; SI ERROR, PARA
             JMP      RETURN ; VUELVE A ABRIR "FOTO"

DBIN:      .DBIN
BIND:      .BIND

             .TXTM    0

.CR:      .TXT      "<15>"
.LF:      .TXT      "<12>"
.ESC:     .TXT      "<22>"
.R:       .TXT      "R"

.IMAGE:    IMAGE

.GZONA:    GZONA    ; SUBROUTINA QUE TOMA
                               ; UNA ZONA DE LA IMAGEN

.X0:      X0
.Y0:      Y0
.INCX:    INCX
.INCY:    INCY
.NX:      NX
.NY:      NY

             .TXTM    1

.TTO:     .+1*2
             .TXT     "#TTO" ; NOMBRE ASOCIADO A LA
                               ; PANTALLA DE LA CONSOLA

; MENSAJE DE PETICION DE PARAMETROS:
.MSG:     .+1*2
             .TXT     "<15><12>X0, Y0, INCX, INCY, NX, NY ?<15><12>"

```

.NMSG: 32, ; NUMERO DE CARACTERES
.FOTO: .+1*2
.TKT "FOTO"
NBYTE: 128.*116.*2 ; NO. DE BYTES IMAGEN
IMAGE: .BLK 128.*116 ; IMAGEN COMPLETA
.END START

```

; POSICIONADO POR EL MAIN EN XT, YT, REALIZA LA CONVOLUCION DE UNA M
; DE 3X3 EN 4 CASOS DIFERENTES, PARA OBTENER LOS VALORES DE ILUMINA
; EN PUNTOS (4) EN QUE SE SUBDIVIDE EL PIXEL.
; GETXM, GETYM, SON LAS CORDENADAS DEL PUNTO MAS LOS DESPLAZAMIENTOS
; DENTRO DE LA MATRIX.

```

```

;
; 3/4/82
; EN IPTR SE ALMACENAN LOS COEFICIENTES * 256.

```

```

      .TITL    CONV
      .ENT     CONV, GETYM, GETXM, IWORD

      .EXTN    XT, YT,          GETXY
      .EXTD    MPYU

      .NREL

CONV:  STA 3, SVAC3
      LDA 0, @. XT
      NEG 0, 0
      CDM 0, 0
      STA 0, XT. 1          ; XT. 1= XT - 1

      LDA 1, @. YT
      NEG 1, 1
      CDM 1, 1
      STA 1, YT. 1        ; YT. 1= YT - 1

      LDA 0, N4
      STA 0, CTRAD
      SUB 1, 1
      STA 1, PTRAD        ; INICIALIZA CTRAD Y PTRAD

LOOP1: LDA 0, N3
      STA 0, CTRYM
      SUB 1, 1
      STA 1, YM          ; INICIALIZA CTRYM E YM
      SUB 0, 0
      STA 0, WORD

      LDA 1, PTRAD
      LDA 3, NIWORD
      ADD 1, 3
      STA 3, AWORD        ; ACTUALIZA AWORD DENTRO DEL BLK IWORD

      MOV 1, 2
      ADD 1, 1
      ADDZL 1, 1          ; AC1= PTRAD * 9.

      ADD 2, 1
      LDA 2, . IPTR        ; ADRESS INICIAL DE COEFICIENTES
      ADD 2, 1
      STA 1, . PTRAD      ; . PTRAD= IPTR + PTRAD * 9.

LOOP2: LDA 0, N3

```

```

STA 0, CTRXM
SUB 1, 1
STA 1, XM           ; INICIALIZA XM Y CTRXM

LOOP3: LDA 1, YM
        LDA 0, YT. 1
        ADD 0, 1
        STA 1, GETYM   ; GETYM= YT - 1 + YM
        LDA 1, XM
        LDA 0, XT. 1
        ADD 0, 1
        STA 1, GETXM   ; GETXM= XT - 1 + YM

        JSR @. GETXY   ; DEVUELVE AC1= Z(X, Y)
        LDA 2, @. PTRAD

        MOVL 2, 0 , SZC
        NEG 2, 2
        JSR @MPYU
        MOV 0, 0, SZC
        NEG 1, 1
        LDA 0, WORD
        ADD 0, 1
        STA 1, WORD    ; GUARDA EN WORD VALOR PARCIAL DE CONVOLUCION

        ISZ . PTRAD
        ISZ XM
        DSZ CTRXM
        JMP LOOP3
        ISZ YM
        DSZ CTRYM
        JMP LOOP2
        LDA 1, WORD
        MOVL 1, 2 SZC
        SUB 1, 1       ; SI NEGATIVO ENTONCES CERO

        LDA 0, N377
        MOVS 1, 1
        AND 0, 1 ; AC1 = WORD / 256.

        LDA 0, N11
        SUB 1, 0
        MOVL 0, 0 SZC
        LDA 1, N11     ; SI MAYOR QUE 11 ENTONCES 11

        STA 1, @AWORD  ; GUARDA WORD EN BLK IWORD
        ISZ PTRAD
        DSZ CTRAD
        JMP LOOP1

        JMP @SVAC3

.XT:   XT
.YI:   YT
XT. 1: 0

```



```

.MPYU:  MPYU
YT. 1:  0
CTRAD:  0      ;CTR TABLA DIRECCIONES 4-1
PTRAD:  0      ;PTR TABLA DE DIRECCIONES 0-3 OFFSET
.PTRAD:  0      ;IDEM REAL
YM:     0      ;DESPLAZAMIENTO DENTRO DE MATRIZ
XM:     0      ;IDEM
CTRYM:  0
CTRXM:  0
WORD:   0      ;ALMACENAMIENTO DE CONVOLUCION PARCIAL
.GETXY:  GETXY
GETXM:  0      ;VALORES QUE USA GETXY REFERIDOS A LA IMAGEN (XT)
GETYM:  0      ;IDEM (YT)
NG77:   377
NIWORD:  INORD
INORD:  .BLK 4 ;BLK DONDE SE ALMACENA LOS 4 VALORES ASOCIADOS A C
SVAC3:  0
AWORD:  0      ;PTR, AWORD=IWORD+PTRAD
N4:     4.
N3:     3.
N11:    11

```

```

.IPTR:  IPTR
IPTR:   22.
A12:    69.
A13:    -15.
A14:    69.
A15:    205.
A16:    -43.
A17:    -15.
A18:    -43.
A19:     7.
A21:    -15.
A22:    69.
A23:    22.
A24:    -43.
A25:    205.
A26:    69.
A27:     7.
A28:    -43.
A29:    -15.
A31:    -15.
A32:    -43.
A33:     7.
A34:    69.
A35:    205.
A36:    -43.
A37:    22.
A38:    69.
A39:    -15.
A41:     7.
A42:    -43.
A43:    -15.
A44:    -43.
A45:    205.
A46:    69.
A47:    -15.
A48:    69.
A49:    22.

```

```

; POSICIONADO POR EL MAIN EN XT, YT, REALIZA LA CONVOLUCION DE UNA MAT
; DE 3X3 FM 4 CASOS DIFERENTES, PARA OBTENER LOS VALORES DE ILUMINACI
; EN PUNTOS (4) EN QUE SE SUBDIVIDE EL PIXEL.
; GETXM, GETYM, SON LAS CORDENADAS DEL PUNTO MAS LOS DESPLAZAMIENTOS
; DENTRO DE LA MATRIX.
;
; 3/4/82
; EN IPTR SE ALMACENAN LOS COEFICIENTES * 256.

```

```

. TITL    CONV

. ENT     CONV, GETYM, GETXM, IWORD

. EXTN    XT, YT,          GETXY
. EXTD    MPYU

. NREL

CONV:     STA 3, SVAC3
          LDA 0, @. XT
          NEG 0, 0
          COM 0, 0
          STA 0, XT. 1      ; XT. 1= XT - 1

          LDA 1, @. YT
          NEG 1, 1
          COM 1, 1
          STA 1, YT. 1     ; YT. 1= YT - 1

          LDA 0, N4
          STA 0, CTRAD
          SUB 1, 1
          STA 1, PTRAD     ; INICIALIZA CTRAD Y PTRAD

LOOP1:    LDA 0, N3
          STA 0, CTRYM
          SUB 1, 1
          STA 1, YM        ; INICIALIZA CTRYM E YM
          SUB 0, 0
          STA 0, WORD

          LDA 1, PTRAD
          LDA 3, NIWORD
          ADD 1, 3
          STA 3, AWORD     ; ACTUALIZA AWORD DENTRO DEL BLK IWORD

          MOV 1, 2
          ADD 1, 1
          ADDZL 1, 1       ; AC1= PTRAD * 9.

          ADD 2, 1
          LDA 2, . IPTR    ; ADRESA INICIAL DE COEFICIENTES
          ADD 2, 1
          STA 1, . PTRAD   ; . PTRAD= IPTR + PTRAD * 9.

LOOP2:    LDA 0, N3

```

```

STA 0, CTRXM
SUB 1, 1
STA 1, XM          ; INICIALIZA XM Y CTRXM

LOOP3: LDA 1, YM
        LDA 0, YT. 1
        ADD 0, 1
        STA 1, GETYM      ; GETYM= YT - 1 + YM
        LDA 1, XM
        LDA 0, XT. 1
        ADD 0, 1
        STA 1, GETXM      ; GETXM= XT - 1 + YM

        JSR @. GETXY      ; DEVUELVE AC1= Z(X, Y)
        LDA 2, @. PTRAD

        MOVL 2, 0 , SZC
        NEG 2, 2
        JSR @MPYU
        MOV 0, 0, SZC
        NEG 1, 1
        LDA 0, WORD
        ADD 0, 1
        STA 1, WORD      ; GUARDA EN WORD VALOR PARCIAL DE CONVOLUCION

        ISZ . PTRAD
        ISZ XM
        DSZ CTRXM
        JMP LOOP3
        ISZ YM
        DSZ CTRYM
        JMP LOOP2
        LDA 1, WORD
        MOVL 1, 2 SZC
        SUB 1, 1          ; SI NEGATIVO ENTONCES CERO

        LDA 0, N377
        MOVS 1, 1
        AND 0, 1 ; AC1 = WORD / 256.

        LDA 0, N11
        SUB 1, 0
        MOVL 0, 0 SZC
        LDA 1, N11      ; SI MAYOR QUE 11 ENTONCES 11

        STA 1, @AWORD    ; GUARDA WORD EN BLK IWORD
        ISZ PTRAD
        DSZ CTRAD
        JMP LOOP1

        JMP @SVAC3

.XT:    XT
.YT:    YT
XT. 1:  0

```

```

.MPYU:  MPYU
YT. 1:  0
CTRAD:  0      ;CTR TABLA DIRECCIONES 4-1
PTRAD:  0      ;PTR TABLA DE DIRECCIONES 0-3 OFFSET
.PTRAD:  0      ;IDEM REAL
YM:     0      ;DESPLAZAMIENTO DENTRO DE MATRIZ
XM:     0      ;IDEM
CTRYM:  0
CTRXM:  0
WORD:   0      ;ALMACENAMIENTO DE CONVOLUCION PARCIAL
.GETXY:  GETXY
GETXM:  0      ;VALORES QUE USA GETXY REFERIDOS A LA IMAGEN (XT)
GETYM:  0      ;IDEM (YT)
N377:   377
NIWORD:  INORD
IWORD:  4      ;BLK DONDE SE ALMACENA LOS 4 VALORES ASOCIADOS A
SVAC3:  0
AWORD:  0      ;PTR, AWORD=IWORD+PTRAD
N4:     4.
N3:     3.
N11:    11

```

```

.IPTR:  IPTR
IPTR:   4.
A12:   27.
A13:   0.
A14:   27.
A15:   197.
A16:   1.
A17:   0.
A18:   1.
A19:   0.
A21:   0.
A22:   27.
A23:   4.
A24:   1.
A25:   197.
A26:   27.
A20:   0.
A28:   1.
A29:   0.
A31:   0.
A32:   1.
A33:   0.
A34:   27.
A35:   197.
A36:   1.
A37:   4.
A38:   27.
A39:   0.
A41:   0.
A42:   1.
A43:   0.
A44:   1.
A45:   197.
A46:   27.
A47:   0.
A48:   27.
A49:   4.

```

```

; TOMA EL VALOR DE Z CORRESPONDIENTE A LAS COORDENADAS GETXM E GETYM E
; MANTIENE LA MITAD DE LA IMAGEN EN MEMORIA. SON POSIBLES 3 ZONAS, SE
; ENTRE SI 1/4 DE IMAGEN. LAS 3 ZONAS SE VAN CARGANDO POR ORDEN.
; PERMITE UN BARRIDO DE LA IMAGEN EN QUE LA Y NO VARIA A GRANDES SALTO
; SU VARIACION ES APROXIMADAMENTE PROGRESIVA AUMENTANDO.
; DATOS: COORDENADAS X,Y (QUE PUEDEN SER NEGATIVOS O SUPERIORES A LOS
; HA DE INICIALIZARSE GETFL A 0 CADA NUEVA IMAGEN
;
; DEVUELVE AC1=Z(X,Y)
;
; 3/2/82

```

```

.TITL    DAXY
.ENT     GETXY
.EXTN    MPY
.EXTN    INFOT, GETXM, GETYM, GETFL

.NREL

```

```

GETXY:  STA      3, SVAC3
        LDA      0, @ GETXM
        MOVZL#   0, 0, SZC ; TEST <0
        JMP      OUTOB
        LDA      2, XMAX
        SUBZ#    2, 0, SZC ; TEST >= XMAX (=128.)
        JMP      OUTOB
        LDA      1, @ GETYM
        MOVZL#   1, 1, SZC ; TEST <0
        JMP      OUTOB
        LDA      3, YMAX ; TEST >= YMAX (=116.)
        SUBZ#    3, 1, SZC
        JMP      OUTOB
        MPY      ; AC1 = OFFSET ABSOLUTO EN IMAGEN
        LDA      2, @ GETFL ; OFFSET DE LA ZONA ACTUAL DE IMAGEN E
        SUB      2, 1 ; OFFSET EN LA ZONA ACTUAL DEL X, Y
        LDA      0, IMMED ; NO. DE WORDS DE IMAGEN EN MEMORIA (TOTAL/2)
        SUBZ#    0, 1, SZC ; TEST SI SALE FUERA DE LA ZONA ACTUAL
        JMP      NEWZON ; SALE FUERA
        LDA      2, .XIMA ; ADRRES INICIAL ZONA
        ADD      1, 2 ; PTER X, Y
        LDA      1, 0, 2 ; TOMA Z(X,Y) -> AC1
        JMP      @SVAC3 ; RETORNA

OUTOB:  LDA      1, GETOO ; VALOR..NULLD (OUT OF BOUNDS)
        JMP      @SVAC3 ; RETORNA

NEWZON: MOVZL#   0, 0 ; INCREMENTO DE GETFL (NO. WORDS TOTAL/4)
        ADD      0, 2 ; NEW GETFL
        STA      2, @ GETFL
        MOVZL#   2, 1 ; NO. DE BYTES POSITION
        SUB      0, 0 ; HIGH ORDER
        .SYSTEM
        .SPDS    1 ; POSICIONA
        JMP
        LDA      0, .XIMA ; WORD PTER
        ADD      0, 0 ; BYTE PTER
        LDA      1, IMMED ; WORD COUNT

```

```

ADD      1,1      ; BYTE COUNT (MEDIA IMAGEN)
.SYSTM
.RDS     1        ; LEE MEDIA IMAGEN
JMP
JMP      GETXY+1 ; ENTRA DE NUEVO

SVAC3:   0

.XIMA:   INFUT   ; PTER ZONA EN MEMORIA

.GETXM:  GETXM
.GETYM:  GETYM

.GETOO:  0        ; VALOR DE RETORNO CUANDO X,Y REBASAN LIMITES IMAGEN
.GETFL:  GETTL   ; OFFSET EN WORDS DE LA ZONA ACTUAL EN MEMORIA

IMMED:   128 *116./2 ; NO. TOTAL WORDS IMAGEN / 2

XMAX:    128.
YMAX:    116.

.END

```

```

        .TITLE FINE
;GRABA EN EL FILE XIMA LA IMAGEN TRANSFORMADA
        .ENT FINE
        .EXTN .ZONA
        .EXTD ERMES
        .TXTM 1
        .NREL
FINE:   STA 3,SVAC3
        LDA 0,.XIMA
        .SYSTEM
        .OPEN 2
        JMP E1

        LDA 0,NZONA
        ADD 0,0
        LDA 1,N2969
        .SYSTEM
        .WRS 2
        JMP E2

        .SYSTEM
        .CLOSE 2
        JMP E3

        JMP @SVAC3

E1:     JSR @ERMES
        .TXT /FINE: ERROR OPEN<15>/
E2:     JSR @ERMES
        .TXT /FINE : ERROR WRS<15>/
E3:     JSR @ERMES
        .TXT /FINE : ERROR CLOSE<15>/

NZONA:  .ZONA
.XIMA:  .+1*2
        .TXT /XIMA/
N2969:  29696.
SVAC3:  0
        .END

```

```

; COLOCA EN EL FILE DE IMPRESORA (PICTURE , 132*120 ) LOS TONOS
; DE GRISES CORRESPONDIENTES A LOS CUATRO SUBPIXEL QUE DIRECCIONA
; IWORD . EN ITAB SE INICIA LA TABLA CON LOS VALORES DE GRISES
;
; 3/15/82
;

```

```

.TITL GPIC
.ENT GPIC
  EXTN ZONA, XT, YT, IWORD, BLOCK, MPY
.EXTD DIVI, MPYU
.NREL

```

```

GPIC: STA 3, SVAC3
      LDA 1, @.YT
      LDA 2, N15          ; 15=NUM. DE LINEAS EN UNA ZONA
      JSR @DIVI          ; AC1/AC2 --> AC1 + (RESTO EN ACO)

      STA 0, YPTR        ; YPTR= Y DENTRO DE ZONA . AC1= NUEVA ZONA
      LDA 3, @.ZONA      ; ZONA ACTUAL EN MEMORIA
      SUB# 3, 1, SNR     ; COMPARA LA ZONA ACTUAL Y LA NUEVA
      JMP GPICO         ; IGUALES

      STA 1, @.ZONA      ; ACTUALIZA NUEVA ZONA
      MOV 3, 1           ; ZONA ANTIGUA
      LDA 2, N1188
      JSR @MPYU         ; AC2*AC1 --> ACO, AC1
      .SYSTEM
      .SPOS 0           ; POSICIONA EN PICTURE EN ZONA ANTIGUA
      JMP .

      LDA 0, .BLOCK
      ADD 0, 0
      LDA 1, N1188
      .SYSTEM
      .NRE 0
      JMP .

      LDA 2, @.ZONA
      JSR @MPYU
      .SYSTEM
      .SPOS 0           ; POSICIONA EN NUEVA ZONA
      JMP .

      LDA 0, .BLOCK
      ADD 0, 0
      LDA 1, N1188
      .SYSTEM
      .RDE 0           ; LEE NUEVA ZONA
      JMP .

GPICO: LDA 2, N377
      LDA 0, @.XT
      MOVIR 0, 0, SNC   ; COMPRUEBA SI XT ES PAR O IMPAR
      MOV# 2, 2        ; SI IMPAR CAMBIA MASCARA
      STA 2, MASK

```



```

LDA 1, . BLOCK
ADD 1, 0 ; XT/2 + BLOCK
LDA 1, YPTR
LDA 2, N396
MPY ; AC2*AC1 + AC0 --> AC1
STA 1, PTRBLK ; PTRBLK= BLOCK + Y*396. + X/2

SUB 1, 1
STA 1, SPIX
LDA 1, N2
STA 1, CSPIX
LDA 1, NIWORD
STA 1, TWORD

GPIC2: SUB 1, 1
STA 1, PTRX
LDA 1, N3
STA 1, CTRPX

GPIC1: LDA 1, TWORD
STA 1, AWORD
SUB 0, 0
LDA 1, @AWORD ; INICIALMENTE TOMA EL SUBPIXEL 1 LUEGO EL 3
MOVZL 1, 3
ADD 1, 3 ; MULTIPLICA POR 3

LDA 1, . ITAB
LDA 2, PTRX
ADD 1, 2
STA 2, ATAB ; ATAB=ITAB + PTRX

ADD 3, 2
LDA 1, 0, 2
LDA 2, N70
AND 2, 1 ; AC1 = ....000---000
ADD 1, 0

ISZ AWORD
LDA 1, @AWORD ; PRIMERO SUBPIXEL 2 LUEGO 4
MOVZL 1, 2
ADD 2, 1
LDA 2, ATAB

ADD 1, 2
LDA 1, 0, 2
LDA 2, N7
AND 2, 1 ; AC1 = ....000---
ADD 1, 0

LDA 2, N200
ADD 2, 0 ; COLOCA 1 PARA IMPRESION

MOV 0, 3
MOVS 0, 0
ADD 0, 3 ; DUPLICAR INFORMACION

LDA 1, MASK
AND 1, 3
LDA 0, SPIX
MOVZL 0, 1

```

```

ADD 1,0
LDA 2,PTRX
ADD 0,2          ;3*SPIX + PTRX
LDA 1,N66
STA 3,ABC
LEA 0,PTRBLK
MAY
LEA 3,ABC
MOV 1,2
LEA 1,0,2

LEA 0,MASK
COM 0,0
AND 0,1
ADD 3,1          ;LIMPIA BYTE Y SUPERPONE

STA 1,0,2        ;GRABA EN BLOCK

ISZ PTRX
DSZ CTRPX
JMP GPIC1

ISZ TWORD
ISZ TWORD

ISZ SPIX
DSZ CSPIX
JMP GPIC2

JMP @SVAC3

```

```

SVAC3: 0
ABC: 0
N15: 15.          ;NUM. DE LINEAS EN UNA ZONA
N6: 6
N2: 2
N3: 3
YPR: 0           ;Y DENTRO DE LA ZONA
N188: 11880.     ;NUM. DE BYTES POR ZONA
MASK: 0
N377: 377
N396: 396.
.Y1: YT
.X1: XT
.ZONA: ZONA
.BLOCK: BLOCK
NIWORD: IWORD
N70: 7
N7: 70
N200: 100
N66: 66.
PTRBLK: 0        ;PTR DENTRO DE BLOCK
SPIX : 0         ;PTR BLOQUE IWORD (0-1)
ATAB: 0
AWORD: 0
TWORD: 0
CSPIX: 0
.ITAB: ITAB     ;ITAB=ADRESS INICIAL EN TABLA DE TONOS
PTRX: 0         ;PTR DENTRO DE CADA SUBPIXEL (0-5)

```

CTRPX: 0

ITAB: 0
P02: 0
P03: 0

P11: 0
P12: 22
P13: 0

P21: 0
P22: 55
P23: 0

P31: 22
P32: 0
P33: 55

P41: 55
P42: 0
P43: 55

P51: 22
P52: 77
P53: 22

P61: 55
P62: 77
P63: 22

P71: 77
P72: 22
P73: 77

P81: 77
P82: 55
P83: 77

P91: 77
P92: 77
P93: 77

.END

. TITLE HISTO .

;A PARTIR DE UNA IMAGEN EN DISCO (XIMA) ABRE PARA LEER
; INICIALIZA PTRS EVALUA HISTOGRAMA, CIERRA FICHERO Y DEJA TODA LA IM
;A PARTIR DE .ZONA (116*128).

. ENT HISTO, HIST1, .ZONA

. EXTD ERMES

. TXTM 1

. NREL

HISTO: STA 3, SVAC3
LDA 1, N1484
STA 1, CTRZ ; INICIALIZA CTRZ
LDA 0, NPTRZ
STA 0, PTRZ ; INICIALIZA PTRZ
LDA 1, NHIS1
STA 1, .HIS1 ; INICIALIZA .HIS1

LDA 0, .FALCO

. SYSTM

. OPEN 1

JMP E1 ; ABRE XIMA

LDA 0, NPTRZ ; ADRESS COMIENZO

ADD 0, 0

LEA 1, N2969

. SYSTM

. RDS 1

JMP E2 ; LEE FILE

. SYSTM

. CLOSE 1

JMP E3 ; CIERRA FILE

ALFA: LEA 0, @PTRZ ; EVALUACION HISTOGRAMA

LDA 1, .HIS1

ADD 0, 1 ; AC1= ADRESS F(X)

STA 1, INCD

ISZ @INCD

ISZ PTRZ

DSZ CTRZ

JMP ALFA

JMP @SVAC3 ; RTN .

E1: JSR @ERMES
. TXT /HISTO: ERROR OPEN<15>/

E2: JSR @ERMES
. TXT /HISTO: ERROR RDS<15>/

E3: JSR @ERMES
. TXT /HISTO: ERROR CLOSE<15>/

. FALCO: . +1*2
. TXT /XIMA/ ; BYTE PTR

N2969: 29696.

PTRZ: 0 ; PTR PARA BARRER MEMORIA

NPTRZ: .ZONA

CTRZ: 0 ; CTR CONTROL BUCLE 116*128

N1484: 14848.
INCD: 0
.HIS1: 0
NHIS1: HIST1
SVAC3: 0
HIST1: .BLK 256. ;BLK PARA F(X), X0...X255
.ZONA: .BLK 14848.

.END

```
; PROGRAMA QUE IMPRIME EL FILE FOTO, ESTANDO ESTE EN 37 NIVELES
; INICIALMENTE SOLO SE CARGA MEDIA IMAGEN EN MEMORIA DE 128.*116.
;
; 2/26/82
;
```

```
.TITL PRTFT37
```

```
.EXTN IPIXEL PIXEL FPIXEL IMPIC
.EXTD MPYU
```

```
.NREL
```

```
PRTFT: SUB 1,1
      LDA 0,.FFOTO
      .SYSTEM
      .OPEN 1
      JMP RETURN
      SUB 2,2
      JSR @.IPIXEL
```

```
ZLOOP: LDA 1,NZ
      LDA 2,NBYT
      JSR @MPYU
      .SYSTEM
      .SPDS 1
      JMP RETURN
      LDA 0,.IMAGE
      ADD 0,0
      LDA 1,NBYT
      .SYSTEM
      .RDS 1
      JMP RETURN
```

```
LDA 0,N58
STA 0,CTRY
SUB 0,0
STA 0,Y
```

```
YLOOP: LDA 0,N128
      STA 0,CTRX
      SUB 0,0
      STA 0,X
```

```
XLOOP: LDA 1,Y
      MOVE 1,1
      MDVR 1,1
      LDA 0,X
      ADD 0,1
      LDA 0,.IMAGE
      ADD 0,1
      MOV 1,2
      LDA 1,0,2
      STA 1,Z
```

```
LDA 2,Y
```

```
STA 2,YR
LDA 1,NZ
LDA 0,N58
```

```
MOV 1,1,SZR
ADD 0,2
STA 2,Y
LDA 2,XYZT
JSR @.PIXEL
```

```
LDA 1,YR
STA 1,Y
ISZ X
DSZ CTRX
JMP XLOOP
ISZ Y
DSZ CTRY
JMP YLOOP
```

```
ISZ NZ
DSZ CTRZ
JMP ZLOOP
```

```
JSR @.FPIXEL
JSR @.IMPIC
.SYSTM
.CLOSE 1
```

```
JMP RETURN
```

```
RETURN: .SYSTM
.RTN
JMP .
```

```
N58: 58.
N128: 128.
```

```
YR: 0
CTRY: 0
CTRX: 0
NZ: 0
CTRZ: 2
NBYT: 128.*116.
```

```
NWORD: 128.*58.
XYZT: .+1
X: 0
Y: 0
Z: 0
```

```
.IPIXEL: IPIXEL
.PIXEL: PIXEL
.FPIXEL: FPIXEL
.IMPIC: IMPIC
```

```
.FFOTO: .+1*2
.TXTM 1
.TXT "FOTO"
.IMAGE: IMAGE
```

```
IMAGE: .BLK 128.*58.
```

```
.END PRTFT
```

```

; SUBROUTINA QUE REALIZA LA INTERPOLACION EN UNA IMAGEN DE 10 NIVELES
; DE 128*116 PARA SUBDIVIDIR CADA PIXEL EN CUATRO SUBPIXEL DE
; 10 NIVELES TAMBIEN, USA LA SUBROUTINA DAXY, QUE DADOS X, Y DE LA
; IMAGEN NOS PROPORCIONA LA ILUMINACION Z ASOCIADA
; USA CONV PARA REALIZAR LA CONVOLUCION EN LOS ENTORNOS DE CADA PIXEL
; PUTXY COLOCA WORD10 (PALABRA EN DONDE ESTAN ENPAQUETADOS
; LOS CUATRO VALORES ASOCIADOS) EN UN FILE DE SALIDA DENOMINADO SIMA
;
; 3/4/82

```

```

.TITL PTR10

```

```

.ENT XT, YT, WORD10, INFOT, OUTFT, GETFL, PTR10, PUTFL

```

```

.EXTN CONV, PUTXY

```

```

.NREL

```

```

.TXTM 1

```

```

PTR10: LDA 0, .IMO
        .SYSTEM
        .OPEN 0
        JMP RETURN          ; ABRE FILE DE ENTRADA
        LDA 0, .IM1
        .SYSTEM
        .OPEN 1
        JMP RETURN          ; ABRE FILE SALIDA
        LDA 0, .XIMA
        ADD 0, 0
        LDA 1, NBYTE
        .SYSTEM
        .RDS 0 ; LEE MEDIA IMAGEN
        JMP RETURN
        SUB 0, 0
        STA 0, GETFL        ; INICIALIZA OFFSET LECTURA
        SFA 0, PUTFL        ; IDEM ESCRITURA

        LDA 0, N116
        STA 0, CTRYT
        SUB 0, 0
        STA 0, YT          ; INICIALIZA CTRYT E YT

YLOOP: LDA 0, N128
        STA 0, CTRXT
        SUB 0, 0
        STA 0, XT

XLOOP: JSR @.CONV          ; EN WORD10 DEVUELVE LOS 4 VALORES ENPAQUETADOS
        JSR @.PUTXY        ; CON XT, YT COLOCA WORD10 EN FILE DE SALIDA
        ISZ XT
        DSZ CTRXT
        JMP XLOOP
        ISZ YT
        DSZ CTRYT
        JMP YLOOP

```



```

SUB 0,0
LDA 1,NBYTE
.SYSTM
.SPDS 1
JMP RETURN          ; POSICIONA EN MEDIO
LDA 0,.SIMA
ADD 0,0 ;BYT PTR
LDA 1,NBYTE
.SYSTM
.WRS 1
JMP RETURN          ; GRABA ULTIMA ZONA
.SYSTM
.CLOSE 1
JMP RETURN          ; CIERRA FILE ENTRADA
.SYSTM
.CLOSE 0
JMP RETURN          ; CIERRA FILE SALIDA

RETURN: .SYSTM
.RTN
JMP .

.IMO:   .+1*2
        .TXT "XIMA"          ; FILE ENTRADA

.IM1:   .+1*2
        .TXT "SIMA"          ; FILE SALIDA

NBYTE:  128.*116.           ; MITAD DE IMAGEN
PUTFL:  0
GETFL:  0
.XIMA:  INFOT
.SIMA:  OUTFT
XT:     0
YT:     0
CTRXT:  0          ; CONTADOR DE XT(X TOTAL)
CTRYT:  0          ; IDEM YT
N128:   128.
N116:   116.
WOR10:  0
.CONV:  CONV
.PUTXY: PUTXY

INFOT:  .BLK 128.*58.       ; MEDIA IMAGEN DE ENTRADA
OUTFT:  .BLK 128.*58.       ; IDEM SALIDA

.END PTR10

```

```

; ESCRIBE EL VALOR DE Z CORRESPONDIENTE A LAS COORDENADAS X E Y EN X
; MANTIENE A MITAD DE LA IMAGEN DE SALIDA EN MEMORIA A PARTIR DE SI
; DIVIDE LA IMAGEN EN DOS ZONAS IGUALES, QUE GRABA EN DISCO CONSECUTIVAMENTE
; EL BARRIDO DE LA IMAGEN HA DE SER POR LINEAS HORIZONTALES SUCEсивAMENTE
; DATOS: COORDENADAS X E Y (DENTRO DE LOS LIMITES DE IMAGEN)
; VALOR DE Z A GRABAR EN AC1
; CANAL DE ESCRITURA (HA DE ESTAR ABIERTO Y HA DE CERRARSE)
; HA DE INICIALIZARSE PUTFL CADA NUEVA IMAGEN
;
; 3/4/82

```

```

.TITL    STOXY
.ENT     PUTXY

.EXTN    MPY
.EXTN    OUTFT, XT, YT, PUTFL, WDR10

.NREL

```

```

PUTXY:  STA     3, SVAC3
        LDA     0, @ XT
        LDA     1, @ YT
        LDA     2, XMAX
        MPY     ; AC1=OFFSET ABSOLUTO EN IMAGEN
        LDA     2, @.PUTFL ; OFFSET DE LA ZONA ACTUAL DE IMAGEN
        SUB     2, 1 ; OFFSET DE LA ZONA ACTUAL DEL X, Y
        LDA     0, IMMED ; NO. DE WORDS DE IMAGEN EN MEMORIA (TOTAL/2)
        SUBZ#   0, 1, SZC ; TEST SI SALE FUERA DE LA ZONA ACTUAL
        JMP     NEWZON ; SALE FUERA
        LDA     2, .SIMA ; ADDRESS INICIAL ZONA
        ADD     1, 2 ; PTER X, Y
        LDA     1, @.WDR10 ; TOMA Z
        STA     1, 0, 2 ; GRABA EN IMAGEN
        JMP     @SVAC3 ; RETORNA

```

```

NEWZON: ADD     0, 2 ; NEW PUTFL (ACO=INC. DE PUTFL=NO. WORDS/2)
        STA     2, @.PUTFL ; NEW PUTFL
        SUB     1, 1 ; BYTE COUNT
        SUB     0, 0 ; HIGH ORDER
        .SYSTEM
        .SPDS   1 ; POSICIONA EN LA MITAD
        JMP     .
        LDA     0, .SIMA ; WORD PTER
        ADD     0, 0 ; BYTE PTER
        LDA     1, IMMED ; WORD COUNT
        ADD     1, 1 ; BYTE COUNT
        .SYSTEM
        .WRS    1 ; GRABA MEDIA IMAGEN
        JMP     .
        JMP     PUTXY+1

```

```
SVAC3:  0
```

```
.SIMA:  OUTFT ; PTER ZONA EN MEMORIA SEGUNDA IMAGEN
```

```
IMMED:  128.*116./2 ; NO. TOTAL DE WORDS IMAGEN / 2
```

```
XMAX:   128.
```

```
.XT:    XT
```

.YT: YT
.PUTFL: PUTFL
.WOR10: WOR10

.END

```

. TITLE TRAS
. NREL
. TXTM 1
TRAS: LDA 0, . XIMA
. SYSTEM
. OPEN 0
JMP RETURN

LDA 0, . IMAGE
ADD 0, 0
LDA 1, N

ADD 1, 1
. SYSTEM
. RDS 0
JMP RETURN

LDA 0, N
STA 0, CTRM
SUB 0, 0
STA 0, PTRM

LOOP:  LDA 1, . IMAGE
LDA 2, PTRM
ADD 1, 2
LDA 0, 0, 2
MOV 0, 1
ADDZL 0, 0
ADD 1, 0
ADD 0, 0
MOVS 0, 0
LDA 1, N377
AND 1, 0
STA 0, 0, 2

ISZ PTRM
DSZ CTRM
JMP LOOP

SUB 0, 0
MOV 0, 1
. SYSTEM
. SPOS 0
JMP RETURN
LDA 0, . IMAGE
ADD 0, 0
LDA 1, N

ADD 1, 1
. SYSTEM
. WRS 0
JMP RETURN
. SYSTEM
. CLOSE 0
JMP RETURN

RETURN: . SYSTEM
. RIN
JMP .

```

N: 116. *128.

. XIMA: . +1*2

. TXT "XIMA"

N377: 377

CTRN: 0

PTRN: 0

. IMAGEN: IMAGE

IMAGE: . BLK 116. *128.

. END TRAS

. TITLE TRHISTO

ECTUA TRANSF. DE XIMA EN OTRA DE FORMA QUE PRESENTE UNA DISTRIBUCION CONSTA
Y UNIFORME EN SU HISTOGRAMA. USA SUB HISTO QUE EVALUA HISTOGRAMA DE XIMA,
X QUE TRANSFORMA DISTRIBUCION DE 256 NIVELES EN 37, Y FINE QUE CIERRA LOS;
. ENT HIST2

.EXTN HISTO, .ZONA, TRX, HIST1, ERMES, XBLK

.EXTN FINE

.NREL

```
C: LDA 0, N256
STA 0, CONT
LDA 1, NHIS2
STA 1, .HIS2
LDA 0, NHIS1
STA 0, .HIS1
JSR @.HISTO
SUB 1, 1

C2: LDA 0, @.HIS1
ADD 0, 1 ; EN AC1 EL RESULTADO PARA CADA X
STA 1, @.HIS2 ; NUEVA POSICION DEL VALOR ACUMULADO
ISZ .HIS1
ISZ .HIS2
DSZ CONT ; ACABA SI X255
JMP INIC2
JSR @.TRX ; CALCULA X0...X36
LDA 1, NPTRM
STA 1, PTRM ; INIC. PTRM
LDA 0, N1484
STA 0, CTRM ; INIC. CTRM

A1: LDA 1, @PTRM ; ASOCIA A CADA PUNTO EL NIVEL X0...X36 SEGUN TRANSF.
LDA 0, ENRI
ADD 0, 1
STA 1, POSX
LDA 1, @POSX ; GUARDA ADRESS PARA PSICIONAR EN TABLA
STA 1, @PTRM
ISZ PTRM
DSZ CTRM
JMP BETA1

JSR @.FINE ; PARA DESPEDIR
.SYSTM
.RTN
JMP .

BTO: HISTO ; SUB QUE EVALUA HISTOGRAMA
B1: HIST1 ; PRIMER ADRESS TABLA VALORES HISTOGRAMA INICIAL
B1: 0
B2: HIST2 ; PRIMER ADRESS HISTOGRAMA ACUMULADO INICIAL
B2: 0
B: 256.
IE: FINE
I: XBLK

B: 0 ; NUM NIVELES POSIBLES
: TRX
M: .ZONA
```

PTRM: 0 ; PTR IMAGEN MEMORIA
N1484: 14848. ; 116*128= 14848 NUM PTOS MEMORIA
CTRM: 0
POSX: 0
HIST2: .BLK 256.

.END INIC

```

; OPERACION; IMPRIME EL HISTOGRAMA FRECUENCIA-
; TONO DE GRIS (0 A 255.) CORRESPONDIENTE
; AL FICHERO "FOTO", REALIZANDO UN CAMBIO
; DE ESCALA, QUE APARECE MARCADO EN LOS
; BORDES DEL HISTOGRAMA. CADA 8 BARRAS
; IMPRIME UNA ESCALA DE PUNTOS SEPARADA
; 12. UNIDADES DE ORDENADA.
;
;
; DATOS DE ENTRADA; FICHERO "FOTO"
; TAB ; DIRECCION INICIAL DE LA
; ; TABLA DE FRECUENCIAS
;
; DATOS DE SALIDA; NINGUNO
;
; SUBROUTINAS UTILIZADAS:
; .EXTN STAB ; GENERA TABLA DE FRECUENCIAS
; .EXTN ZDIST ; IMPRIME BARRA DE HISTOGRAMA
; .EXTN PRTLN ; IMPRIME LINEA DE 132. CODIGOS
;
; .ENT IMAGE
;
; .EXTN TAB
;
; .NREL
START: SUB 1,1 ; 0
LDA 0, .FOTO ; BYTE PTER
; .SYSTEM
; .OPEN 0 ; ABRE "FOTO"
JMP .
LDA 0, .IMAGE
ADD 0,0
LDA 1, NBYTE ; FOTO COMPLETO
; .SYSTEM
; .RDS 0 ; LEE FOTO SOBRE IMAGE
JMP .
; .CLOSE 0 ; CIERRA FOTO
JMP .
SUB 1,1
LDA 0, .LPT
; .SYSTEM
; .OPEN 0 ; ABRE IMPRESORA
JMP . ; SE DEJA ABIERTO

JSR @.STAB ; GENERA TABLA DE
; DISTRIBUCION DE TONOS

; IMPRIME ESCALA HORIZONTAL INICIAL
LDA 0, .ESCALA ; BYTE PTER
JSR @.PRTLN
JSR @.PRTLN
LDA 1, NPUNTO
STA 1, CESC ; MARCA DEL CAMBIO
; DE ESCALA
JSR @.PRTLN
JSR @.PRTLN
LDA 1, .ESCALA+5

```



```

        STA     1,CESC
        JSR     @,PRTLN
        JSR     @,PRTLN

; INICIALIZACION DE VALORES ANTES
; DE IMPRIMIR EL PROPIO HISTOGRAMA
        LDA     0,MN256 ; NO. DE TONOS
        STA     0,CTER ; INIT
        LDA     0,,TAB
STA     0,PTER ; INIT
        LDA     0,NB
        STA     0,CTERS ; INIT CTER MARCAS

LOOP:   LDA     1,@PTER ; TOMA FRECUENCIA
        ISZ     PTER ; SIGUIENTE TONO
        JSR     @,ZDIST ; IMPRIME TONO
        DSZ     CTERS
        JMP     CONL ; CONTINUA (NO DIBUJA MARCA)
        LDA     0,NB
        STA     0,CTERS ; RESET A 8
        LDA     0,,ESCALA
        LDA     1,NPUNTO
        STA     1,,ESCALA+2 ; PONE A BLANCO
                                ; EL PRIMER PUNTO
        JSR     @,PRTLN ; DIBUJA MARCAS DE REFERENCIA
        LDA     1,,ESCALA+5 ; TOMA PUNTITO
        STA     1,,ESCALA+2 ; REPONE
CONL:   DSZ     CTER
        JMP     LOOP ; SIGUIENTE BARRA

; INPRIME ESCALA FINAL
        LDA     0,,ESCALA
        JSR     @,PRTLN
        JSR     @,PRTLN
        LDA     1,NPUNTO
        STA     1,CESC ; MARCA BLANCA DEL CAMBIO
        JSR     @,PRTLN
        JSR     @,PRTLN
        LDA     1,,ESCALA+5
        STA     1,CESC
        JSR     @,PRTLN
        JSR     @,PRTLN

        .SYSTEM
        .CLOSE 0 ; CIERRA CANAL IMPRESORA
        JMP     .
        .SYSTEM
        .RTN ; RETORNA
        JMP     . ; SI ERROR, PARA
        JMP     . ; STOP

.STAB: STAB
.TAB: TAB
.ZDIST: ZDIST
.PRTLN: PRTLN

N256: 256.

```



```

.1 #USLINIT, STANDARD_LEVEL 'HP3000'
1 PROGRAM PRTCOLOR<INPUT,OUTPUT,OUTFILE>;
2 TYPE
3 SUBINTEGER=-32000,,32000;
4 VECTOR=ARRAY[1,,128] OF SUBINTEGER;
5 TPIXEL=ARRAY [1,,56] OF SUBINTEGER;
5.1 TPIXCOL=ARRAY[1,,4] OF TPIXEL;
6 LINEA=PACKED ARRAY[1,,1024] OF CHAR;
7 FICHERO=FILE OF VECTOR;
7.01 COLOR=(AMARILLO,MAGENTA,CYAN,NEGRO);
7.1 TCARAC=PACKED ARRAY [COLOR,1,,8] OF CHAR;
7.2 TALFA=ARRAY[1,,5] OF REAL;
8 VAR
9 Y,(*LUMINANCIA*)
10 R,(*COMPONENTE ROJA*)
11 B,(*COMPONENTE AZUL*)
11.1 F,(*CODIGO ASOCIADO AL FICHERO OUTFILE*)
11.2 PARM,(*parametro del FCONTROL no se utiliza*)
11.3 CONTROLCODE,(*parm de FCONTROL,27 par disable LF y CR*)
12 K,I,J;SUBINTEGER;
12.1 NR;REAL;(*NUMERO RANDOM*)
13 LY,(*LINEA DE FOTOY*)
14 LR,(*LINEA DE FOTOR*)
15 LB;VECTOR;(*LINEA DE FOTOB*)
16 LINIMPR; ARRAY [COLOR] OF LINEA;
20 INFILE;ARRAY[1,,3] OF FICHERO;
21 OUTFILE;TEXT;
22 NOMFILE;ARRAY[1,,3] OF PACKED ARRAY[1,,8] OF CHAR;
23 BETA;TALFA;
23.1 CODIGO;PACKED ARRAY [1,,4] OF CHAR;
24 PIXE;TPIXCOL;
24.1 CARAC; TCARAC;
24.2 C; COLOR;
25
25.1 PROCEDURE FCONTROL;INTRINSIC;
25.2 (* el FCONTROL permite gobernar el Carriage Return, en
25.3 este programa se quita, colocando controlcode=27 *)
26
27 FUNCTION ALFA(Y,R,B;SUBINTEGER);TALFA;
28 (*esta funcion dada las Y,R,B, de un punto devuelve
29 las densidades asociadas a cada cinta de color *)
30
30.1 CONST
30.11 K1=32;
30.12 K2=42;
30.13 K3=8;
30.14 K4=34;
30.15 K5=40;
30.16 K6=32;
30.17 K7=56;
30.18 K8=16384;
30.19 K9=162;
30.2 K10=165;
31 VAR
32 D;ARRAY[1,,3] OF REAL;
32.1 N,
33 ALFAMIN,

```

```

34     ALFAMAX:REAL)(<*MAX DENSIDAD BLANCOS*)
34.1     I,
34.2     IMIN:SUBINTEGER;
34.3     RALFA:TALFA;
35
36     BEGIN
37         RALFA[4]:=0;
38         D[1]:=K1*Y-K2*(B-Y)+K3*(R-Y);
39         D[2]:=K1*Y+K4*(B-Y)+K5*(R-Y);
40         D[3]:=K1*Y+K6*(B-Y)-K7*(R-Y);
41         FOR I:=1 TO 3 DO
42             IF D[I] < 0 THEN D[I]:=0;
43         ALFAMAX:=TRUNC((D[1]+D[2]+D[3]-K8)/K9);
44         IF ALFAMAX < 0 THEN
45             BEGIN
46                 ALFAMAX:=0;
47                 FOR I:=1 TO 3 DO
48                     RALFA[I]:=D[I];
49                 END
50             ELSE
51                 BEGIN
52                     ALFAMIN:=D[1]-ALFAMAX*K10;
53                     FOR I:=1 TO 3 DO
54                         BEGIN
55                             RALFA[I]:=D[I]-ALFAMAX*K10;
56                             IF RALFA[I] <= ALFAMIN THEN
57                                 BEGIN
58                                     ALFAMIN:=RALFA[I];
59                                     IMIN:=I
60                                 END;
61                         END;
62                     ALFAMAX:=D[IMIN]/K10;
63                     FOR I:=1 TO 3 DO
64                         RALFA[I]:=D[I]-ALFAMAX*K10;
65                     END;
66                     RALFA[5]:=ALFAMAX;
67                     N:=RALFA[1]+RALFA[2]+RALFA[3]+RALFA[5];
68                     FOR I:=1 TO 5 DO
69                         RALFA[I]:=TRUNC(56*RALFA[I]/N);
70                     RALFA[4]:=56-RALFA[1]-RALFA[2]-RALFA[3]-RALFA[5];
70.1     ALFA:=RALFA;
71     END;
72     (*FIN DE LA FUNCION ALFA*)
73
74     PROCEDURE XTRAND(NX:SUBINTEGER;VAR VR:TPIXEL);
74.1     (*este procedimiento genera un pixel random de 56 elementos*)
75
76     VAR
77         X,
78         Y:REAL;
79         I,
80         IX,
81         L:SUBINTEGER;
82         CONJUNTO:SET OF 1..56;
83
84
85     BEGIN
86         CONJUNTO:=[];

```

```

88     WHILE NX>0 DO
89     BEGIN
90     NR:=ABS(NR)+17;
91     X:=SQRT(NR)+0.37;
92     X:=X-TRUNC(X);
93     NR:=NR*X;
94     Y:=0;
95     FOR L:=1 TO 6 DO
96     BEGIN
97     X:=10*X;
98     IX:=TRUNC(X);
99     X:=X-IX;
100    Y:=(Y+IX)/10;
101    END;
102    NR:=NR/(Y+0.1);
103    I:=ROUND(Y*55)+1;
104    IF NOT(I IN CONJUNTO) THEN
105    BEGIN
106    VR[IX]:=I;
107    CONJUNTO:=CONJUNTO + [I];
108    NX:=NX-1
109    END;
110    END;
111    END;
112
113    PROCEDURE PIXEL(RALFA:TALFA;VAR PIXE:TPIXCOL);
114    VAR
115    MAX:REAL;
116    N,
117    K,I,IMAX,
118    L,
119    CONT,
120    M,
121    J:SUBINTEGER;
122    VR:TPIXEL;
123
124
125    BEGIN
126    MAX:=RALFA[1];
127    FOR I:=1 TO 5 DO
128    IF RALFA[I]>MAX THEN
129    BEGIN
130    MAX:=RALFA[I];
131    IMAX:=I
132    END;
133    N:=56-TRUNC(MAX);
134    XTRAND(N,VR);
135
136    CONT:=1;
137    IF IMAX<>5 THEN
138    BEGIN
139    FOR L:=1 TO 56 DO
140    PIXE[IMAX,L]:=1;
141    FOR K:=1 TO N DO
142    PIXE[IMAX,VR[K]]:=0;
143
144    FOR M:=1 TO 4 DO
145    BEGIN

```

```

146         IF MK>IMAX THEN
147             BEGIN
148                 FOR K:=1 TO 56 DO
149                     PIXE[M,K]:=0;
150                 FOR J:=1 TO TRUNC(RALFA[M]) DO
151                     BEGIN
152                         PIXE[M,VR[CONT]]:=1;
153                         CONT:=CONT+1
154                     END;
155                 END;
156             END;
157         END
158     ELSE
159     BEGIN
160         FOR M:=1 TO 4 DO
161             BEGIN
162                 FOR K:=1 TO 56 DO
163                     PIXE[M,K]:=0;
164                 FOR J:=1 TO TRUNC(RALFA[M]) DO
165                     BEGIN
166                         PIXE[M,VR[CONT]]:=1;
167                         CONT:=CONT+1
168                     END;
169                 END;
170             END;
171         END;
172
173     FUNCTION GENERACARAC(PIXE:TPIXCOL):TCARAC;
174     VAR
175         DECIMAL,(*valor decimal del caracter*)
176         J,K:SUBINTEGER;
177     C:COLOR;
178
179     BEGIN
180         FOR C:=AMARILLO TO NEGRO DO
181             BEGIN
182                 FOR K:=1 TO 8 DO
183                     BEGIN
184                         DECIMAL:=PIXE[ORD(C)+1,K*7];
185                         FOR J:=K*7-1 DOWNTO K*7-6 DO
186                             DECIMAL:=DECIMAL*2+PIXE[ORD(C)+1,J];
187                         IF DECIMAL=3 THEN DECIMAL:=6;
188                         GENERACARAC[C,K]:=CHR(DECIMAL);
189                     END;
190                 END;
191             END;
192         END;(*END GENERACARAC*)
193
194     (*PROGRAMA PRINCIPAL*)
195     BEGIN
196
197     198.1     CODIGO[1]:=CHR(27); CODIGO[2]:=CHR(81);
198.2     CODIGO[3]:=CHR(51); CODIGO[4]:=CHR(36);
199     WRITELN 'FICHEROS A PROCESAR(Y,R,B)';
200     FOR I:=1 TO 3 DO
201         BEGIN
202             READLN(NOMFILE[I]);
203             RESET(INFILE[I],NOMFILE[I])

```



```
204     END;
205     REWRITE<OUTFILE>;
206     F:=FNUM<OUTFILE>;
206.01   NR1:=F;
206.1   CONTROLCODE:=27;
206.2   FCONTROL<F,CONTROLCODE,PARM>;
206.3   WRITE<OUTFILE,CHR<3>>; (*PONE LA IMPRESORA EN MODO GRAFICO*)
207
208     FOR I:=1 TO 116 DO
209       BEGIN
210         READ<INFILE[1],LY>;
211         READ<INFILE[2],LR>;
212         READ<INFILE[3],LB>;
213         FOR J:=1 TO 128 DO
214           BEGIN
215             Y:=255-LY[J];
216             R:=255-LR[J];
217             B:=255-LB[J];
218             BETA:=ALFA<Y,R,B>;
219             PIXEL<BETA,PIXE>;
220             CARAC:=GENERACARAC<PIXE>;
221             FOR C:=AMARILLO TO NEGRO DO
222               FOR K:=1 TO 8 DO LINIMPRIC,<J-1>*8+K:=CARAC[C,K];
223           END;
224         FOR C:=AMARILLO TO NEGRO DO
225           BEGIN
226             CODIGO[3]:=CHR<49+ORD<C>>;
226.1     WRITE<OUTFILE,CHR<3>,CHR<2>,CODIGO>;
227             WRITE<OUTFILE,CHR<3>,LINIMPRIC,CHR<3>,CHR<13>>;
228           END;
229         WRITE<OUTFILE,CHR<3>,CHR<14>>
230       END;
231     WRITE<OUTFILE,CHR<3>,CHR<2>>
232     END.
```

```

1 #CONTROL USLINIT
2 C PROGRAMA DE AISLAMIENTO DE FORMAS CROMATICAS
3 C LEE DE FILE 25 FOTO QUE CONTIENE INFORMACION
4 C DE LOS CLUSTERS ESPACIALES NO CONTIGUOS, Y DE
5 C FILE 30 FOTO QUE APORTA LA INFORMACION CROMATICA.
6 DIMENSION IES(128,116),ICR(128,58)
7 READ (25) ((IES(I,J),I=1,128),J=1,116)
8 READ (30) ((ICR(I,J),I=1,128),J=1,58)
9 WRITE (6,10)
10 10 FORMAT (' CLUSTER ESPACIAL DESEADO ',/, ' *****',
10.1 1 '*****')
11 ACCEPT NC
12 WRITE (6,11)
13 11 FORMAT(' INTERVALO CROMATICO DESEADO:',/, ' *****',
13.1 1 '*****')
14 ACCEPT IC1,IC2
14.1 IC1=IC1-1
15 JK=0
15.1 CONT=0
16 DO 90 J=1,116
17 DO 90 I=1,128
18 IF (IES(I,J)-NC) 80,20,80
19 20 IF((ICR(I,J-JK).LT.IC1).OR.(ICR(I,J-JK).GT.IC2)) GOTO 80
20 IES(I,J)=255
20.1 CONT=CONT+1
21 GOTO 81
22 80 IES(I,J)=0
23 81 IF(I.NE.128) GOTO 90
24 IF(J-58) 90,85,90
25 85 JK=58
26 READ (30) ((ICR(IL,JL),IL=1,128),JL=1,58)
27 90 CONTINUE
28 WRITE (6,100) NC
29 100 FORMAT (' NUM. DEL CLUSTER ESPACIAL ',I3,/, '-----
29.1 1 '-----',/)
30 WRITE (6,110) IC1,IC2,CONT
31 110 FORMAT (' INTERVALO CROMATICO',I3,' A ',I3,/, ' NUM. PUNTOS',
32 I15,/)
33 WRITE (20) ((IES(I,J),I=1,128),J=1,116)
34 STOP
35 END

```

```

1      C      REALIZACION DE UN "MEDIAN FILTER"
2      C      LOS VALORES DE LAS DIMENSIONES DE LA MATRIZ DE CONV. SE
3      C      INTRODUCEN POR TECLADO
4      C      29-4-82
5      DIMENSION IENK(128,116) , IV(256) , IS(128,58)
6      READ (20) ((IENK(I,J),I=1,128 ),J=1,116 )
6.3    JINIC=1
6.4    JFIN=58
6.5    IC=0
7      DISPLAY "N , M  MATRIZ CONV.  "
8      ACCEPT  N,M
9      NC=N/2
10     MC=M/2
11     NM=N*M/2
12     3      DO 50 J=JINIC,JFIN
13         DO 50 I=1,128
14         DO 10 IA0=1,N
15         DO 10 JA0=1,M
16         IO=IA0+I-NC-1
17         JO=JA0+J-MC-1
18         IF((IO.LT.1).OR.(IO.GT.128).OR.(JO.LT.1).OR.(JO.GT.116)) GOT
19             JMED=IENK IO,JO)
20             IV(JMED)=IV(JMED)+1
21     10 CONTINUE
22     K=0
23     DO 20 JMED=1,256
24     IF(IV(JMED).EQ.0) GO TO 20
25     K=IV(JMED)+K
26     IF(K.GE.NM) GO TO 30
27     IV(JMED)=0
28     20 CONTINUE
28.1    GOTO 40
29     30 IS (I, J-IC*58)=JMED-1
29.1    IF (JMED.LT.255) GOTO 31
29.2    DISPLAY "I",I,"J",J," = ",JMED
30     31 DO 40 IFIN=JMED,256
31     IV(IFIN)=0
31.1    40 CONTINUE
32     50 CONTINUE
33     DISPLAY "OK. ZONA",IC
35     WRITE (41) ((IS (I,J),I=1,128 ),J=1,58)
36     DISPLAY "END ESCRITURA ZONA?", IC
36.1    IF (IC.NE.0) GOTO 60
36.2    IC=IC+1
36.3    JINIC=59
36.4    JFIN=116
36.5    GOTO 3
37     60 STOP
38     END

```

```

1      *CONTROL USLIMIT
2      C      PROGRAMA PARA EVALUAR LAS CARACTERISTICAS DE LA MASCARA
3      C      IMAGEN EMPAQUETADA(FILE40)
4      DIMENSION IEN(128,116)
5      COMMON IXC(3)
6      READ (40) ((IEN(I,J),I=1,128),J=1,116)
7      JMIN=0
8      IMIN=300
9      JMAX=0
10     IMAX=0
11     DO 60 J=1,58
12     DO 60 I=1,64
13     CALL DESPAC (IEN(I,J))
14     DO 10 K=1,3
15     IK=IXC(K)
16     IF (IK) 10,10,20
17     10 CONTINUE
18     GO TO 60
19     20 IF((IXC(1),EQ,IXC(2)),AND,(IXC(1),EQ,IXC(3))) GOTO 60
20     IF(JMIN) 25,25,29
21     25 JMIN=J
22     29 IF(IMIN-I) 30,30,31
23     31 IMIN=I
24     30 IF(I-IMAX) 40,40,35
25     35 IMAX=I
26     40 IF(J-JMAX) 60,60,45
27     45 JMAX=J
28     60 CONTINUE
29     DISPLAY "VALORES MINIMOS I, J",IMIN,JMIN
30     DISPLAY "VALORES MAXIMOS I, J",IMAX,JMAX
31     IF (JMAX) 65,65,70
32     65 DISPLAY "NO EXISTE PATTERN"
33     GO TO 99
34     70 N=IMAX-IMIN+1
35     M=JMAX-JMIN+1
36     WRITE (20,80) N,M
37     DISPLAY N,M
38     80 FORMAT(2I3)
39     WRITE (20) ((IEN(I,J),I=IMIN,IMAX),J=JMIN,JMAX)
40     DISPLAY "FIN ESCRITURA MASCARA OBJETO"
41     DO 90 I=IMIN,IMAX
42     DO 90 J=JMIN,JMAX
43     CALL DESPAC (IEN(I,J))
44     IEN(I-IMIN+1,J-JMIN+1)=IXC(1)
45     90 CONTINUE
46     DO 95 I=N+1,128
47     DO 95 J=1,116
48     95 IEN(I,J)=0
49     DO 96 I=1,N
50     DO 96 J=N+1,116
51     96 IEN(I,J)=0
52     WRITE (21) ((IEN(I,J),I=1,128),J=1,116)
53     DISPLAY "FIN ESCRITURA DE LA MASCARA COMPROBACION"
54     99 STOP
55     END
56     SUBROUTINE DESPAC (IEN)
57     COMMON IXC(3)

```

```

58     RY=(FLOAT(IEN/2048)-8.)*128./7.
59     XI=AMOD(FLOAT(IEN),2048.)
60     XY=AMOD(XI,128.)
61     BY=((XI-XY)/128,-8.)*128./7.
62     IXC(1)=254,-2.*XY
63     IXC(2)=254,-(2.*RY+2.*XY)
64     IXC(3)=254,-(2.*BY+2.*XY)
65     RETURN
66     END

```

```

1      #CONTROL USLINIT
2      C      PROGRAMA PARA REALIZAR LA OPERACION DE MASKING CROMATICO
5      READ (41,3) N,M
6      3      FORMAT (2I3)
7      DISPLAY "DIMENSIONES MATRIX" ,N,M
7.1    CALL MASK(N,M)
7.2    STOP
7.3    END
7.4    SUBROUTINE MASK(N,M)
7.5    DIMENSION IEN(128,116),IS(128,58),XC(3),IMASC(20,23,3)
8      READ (41) ((IS(I,J),I=1,N),J=1,M)
9      READ (40) ((IEN(I,J),I=1,128),J=1,116)
10     NC=(N+1)/2
11     MC=(M+1)/2
11.1   DO 10 I=1,N
11.2   DO 10 J=1,M
11.3   CALL DESPAC (IS(I,J),XC)
11.3.1 IS(I,J)=0
11.4   IMASC(I,J,1)=XC(1)
11.5   IMASC(I,J,2)=XC(2)
11.6   10   IMASC(I,J,3)=XC(3)
11.7   DO 15 I1=1,N
11.8   DO 15 J1=1,M
11.9   15   IS(I1,J1)=0
12     JK=0
13     DO 60 J=MC,116-MC
14     DO 60 I=NC,128-NC
15     SX=0.
18     DO 30 IA0=1,N
19     DO 30 JA0=1,M
20     IO=IA0-NC+I
21     JO=JA0-MC+J
22     CALL DESPAC (IEN(IO,JO),XC)
23     DO 30 K=1,3
25     SX=SX+XC(K)*IMASC(IA0,JA0,K)
26     30   CONTINUE
27     SX=SX/(8.*32000.)
29     40   IS(I,J-JK)=IFIX(SX)
30     IF(I,NE,128-NC) GOTO 60
34     50   IF(J-58) 60,51,60
35     51   JK=58
39     59   WRITE (20) ((IS(IL,JL),IL=1,128),JL=1,58)
40     DISPLAY "*****"
41     60   CONTINUE
42     WRITE (20) ((IS(IL,JL),IL=1,128),JL=1,58)
43     DISPLAY "fin convolucion"
44     61   IMA=255
45     IMI=0
46     LLN=127-NC
47     LLM=115-MC
48     REWIND 20
49     READ (20) ((IEN(I,J),I=1,128),J=1,116)
50     DO 100 I=1,128
51     DO 100 J=1,116
52     IF((I.LT,NC).OR.(J.LT,MC).OR.(I.GT,LLN).OR.(J.GT,LLM))
53     IF(IEN(I,J)-IMA) 75,75,70
54     70   IMA=IEN(I,J)

```

```
55      GOTO 100
56      75  IF(IMI-IENK I, J)> 100,100,80
57      80  IMI=IENK I, J)
58      100  CONTINUE
59          DISPLAY "VALOR MAXIMO", IMA, "VALOR MINIMO", IMI
60          DISPLAY "DESEA CORRECCION DE NIVELES, SI=1, NO=0"
61          ACCEPT NCLA
62          IF(NCLA) 150,150,160
63      160  DO 120 I=1,128
64          DO 120 J=1,116
65      120  IENK I, J)=(FLOAT(IENK I, J)+IABS(IMI))*225./FLOAT(IMA+IABS(IMI))
66          DISPLAY "O.K. CORRECCION"
67      150  REWIND 20
68          WRITE (20) (( IENK I, J), I=1,128), J=1,116)
69          RETURN
70          END
71          SUBROUTINE DESPAC ( IEN, XC)
72          DIMENSION XC(3)
73          RY=(FLOAT(IEN/2048)-8.)*255./7.
74          XI=AMOD(FLOAT(IEN),2048.)
75          XY=AMOD(XI,128.)
76          BY=((XI-XY)/128.-8.)*255./7.
77          XC(1)=254.-2.*XY
78          XC(2)=(254.-<RY+2*XY>)
79          XC(3)=(254.-<BY+2*XY>)
80          RETURN
81          END
```

```

1      C      TRANSFORMACION DE HISTOGRAMA DE TIPO
2      C      LOGARITMICO.
3          DIMENSION IENK(128,116), IHK(256), IAH(256)
4          XIM=36.
5.01     DISPLAY "VALOR DE IO"
5.02     ACCEPT  XIO
5.1      READ(20) ((IENK(I,J),I=1,128),J=1,116)
5.11     DISPLAY "LECT. O.K."
5.2      C      EVALUACION HISTOGRAMA
5.3          DO 5 K=1,256
5.4              5  IH(K)=0
6                  DO 10 I=1,128
7                      DO 10 J=1,116
8                          K= IENK(I,J)
9                          IH(K+1)=IH(K+1)+1
10             10  CONTINUE
11      C      EVALUACION HISTOGRAMA ACUMULADO
12          IS=0
13          DO 20 K=1,256
14              IS=IS+IH(K)
15              IAH(K)=IS
16          20  CONTINUE
16.1     DISPLAY "HIST. O.K."
17      C      EVALUACION TRANSF. LOG.
18          DO 30 I=1,128
19              DO 30 J=1,116
20                  IK=IENK(I,J)
21                  IENK(I,J)=IFIX(XIO*((XIM/XIO+1)**(1-IAH(IK+1)/(128.*116.))-1))
21.1     IENK(I,J)=36-IENK(I,J)
22          30  CONTINUE
22.01     REWIND 20
22.1     DISPLAY "TRANSF. O.K."
23         WRITE (20) ((IENK(I,J),I=1,128),J=1,116)
24         STOP
25         END

```

```

1      C      CREACION DE FILES PARA IMPRESION FALSO COLOR
2      C      FILE20=FOTOINPUT,FILE21=FOTOOUTB,FILE22=FOTOOUTR,
4      INTEGER B,R,H
5      REAL KB,KR,KG,KL,KWR,KWB
6      DIMENSION H(256),BK(128),R(128),IEN(128,116)
7      READ (20) ((IEN(I,J),I=1,128),J=1,116)
8      KB=0.11
9      KG=0.59
10     KR=0.3
10.1   KL=128.
11     DO 305 I=1,256
12     305   H(I)=0
13     DO 310 I=1,128
14     DO 310 J=1,116
15     310   H(IEN(I,J)+1)=H(IEN(I,J)+1)+1
16     IMIN=0
17     IMAX=255
18     DO 320 I=1,256
19     IF(H(I)) 320,320,315
20     315   IMIN=I-1
21     GOTO 330
22     320   CONTINUE
23     330   DO 340 I=256,1,-1
23.1   IF(H(I)) 340,340,335
23.2   335   IMAX=I-1
23.21  GOTO 350
23.3   CONTINUE
23.4   350   INCR=INT((FLOAT(IMAX)-FLOAT(IMIN))/4.)
23.5   I1=IMIN+INCR
23.6   I2=I1+INCR
23.7   I3=I2+INCR
23.8   KWR=KG*KL/FLOAT(INCR)
23.9   KWB=KR*KL/FLOAT(INCR)
24     DO 120 J=1,116
25     DO 110 I=1,128
26     IC=IEN(I,J)
27     IF(IC-11) 5,5,10
28     5     B(I)=0
29     R(I)=0
31     GOTO 110
32     10   IF(IC-12) 20,20,25
33     20   B(I)=0
34     R(I)=(FLOAT(IC)-KWR*FLOAT(I2-IC))/KR
36     GOTO 110
37     25   IF(IC-13) 30,30,40
38     30   B(I)=(FLOAT(IC)-KWB*FLOAT(IC-12))/KWB
39     R(I)=(FLOAT(IC-12)*KL)/FLOAT(INCR)
41     GOTO 110
43     40   B(I)=FLOAT(IMAX-IC)*KL/FLOAT(INCR)
44     R(I)=0
46     GOTO 110
59     110  CONTINUE
65     WRITE (21) (B(I),I=1,128)
66     WRITE (22) (R(I),I=1,128)
68     120  CONTINUE
69     DISPLAY "OK escritura"
70     STOP

```



```
1      C      LEE Y R B DE UNA IMAGEN GRABA EMP, EN OTRA Y,B-Y,R-Y
1.1    C      FILE20=COMPY,FILE21=COMPR,FILE22=COMPB,FILE40=RESULTADO
2      DIMENSION IY(128,116),IR(128,116)
3      READ (20) ((IY(I,J),I=1,128),J=1,116)
4      READ(21) ((IR(I,J),I=1,128),J=1,116)
5      DO 10 I=1,128
6      DO 10 J=1,116
7          10  IR(I,J)=IY(I,J)-IR(I,J)
8          WRITE (40) ((IR(I,J),I=1,128),J=1,116)
9          READ (22) ((IR(I,J),I=1,128),J=1,116)
10     DO 20 I=1,128
11     DO 20 J=1,116
12     20  IR(I,J)=IY(I,J)-IR(I,J)
13     DO 30 I=1,128
14     DO 30 J=1,116
15         IY(I,J)=(255-IY(I,J))/2
16         IR(I,J)=(7*IR(I,J))/255+8
17         IY(I,J)=IY(I,J)+128*IR(I,J)
18     30  CONTINUE
18.1    REWIND 40
19     READ (40) ((IR(I,J),I=1,128),J=1,116)
19.1    REWIND 40
20     DO 40 I=1,128
21     DO 40 J=1,116
22         IR(I,J)=(7*IR(I,J))/255+8
23     40  IY(I,J)=IY(I,J)+2048*IR(I,J)
24     WRITE (40) ((IY(I,J),I=1,128),J=1,116)
26     STOP
27     END
```

```

1  #CONTROL USLINIT
2  C   PROGRAMA CUANTIZADOR EN N NIVELES
3      DIMENSION UK(255),IE(128,116)
4      READ (40) ((IE(I,J),I=1,128),J=1,116)
5      DISPLAY "NUM. DE NIVELES DE CUANTIZACION"
6      ACCEPT N
7      DO 10 I=1,N
8          10 UK(I)= FLOAT(I-1)*255./FLOAT(N)
9          DO 80 I=1,128
10         DO 80 J=1,116
11         IF (IE(I,J) - UK(2)) 20,30,30
12         20 IE(I,J)=0
12.1        GOTO 80
13         30 IF (IE(I,J) - UK(N)) 31,32,32
13.1        32 IE(I,J)=UK(N)
13.2        GOTO 80
14         31 DO 40 K=2,N-1
15             IF ((IE(I,J).GE.UK(K)).AND.(IE(I,J).LT.UK(K+1))) IE(I,J)=U
16         40 CONTINUE
17         80 CONTINUE
18         WRITE (20) ((IE(I,J),I=1,128),J=1,116)
19         STOP
20         END
21

```

```

.1 #CONTROL USLINIT
1  C   PROGRAMA QUE MEJORA LA CALIDAD DE LAS IMAGENES
2  C   CUANTIZADAS EN POCOS NIVELES POR ADICION DE UNA
3  C   IMAGEN ALEATORIA(FILE 41),A LA OBJETO(FILE 40)
4  C   LA IMAGEN FINAL(FILE 20) ES CUANTIZADA EN 10 NIVELES 0-9
5      DIMENSION INK(128,116),IO(128,116)
6      READ (40) ((INK(I,J),I=1,128),J=1,116)
7      READ (41) ((IO(I,J),I=1,128),J=1,116)
8      DO 50 I=1,128
9          DO 50 J=1,116
10         IO(I,J)=(FLOAT(INK(I,J))-8.+(FLOAT(IO(I,J))*255./900.))*9.
11         IF(IO(I,J)-255) 20,20,10
12         10 IO(I,J)=225
13         GOTO 50
14         20 IF(IO(I,J)) 30,50,50
15         30 IO(I,J)=0
16         50 CONTINUE
17         WRITE (20) ((IO(I,J),I=1,128),J=1,116)
18         STOP
19         END

```

```

1      C      PROGRAMA DE AJUSTE POR MINIMOS CUADRADOS DEL PARABOLOIDE
2      C      PRODUCTO DE LOS ERRORES DEL TUBO Y OPTICA.
3      C      20:ABR:82
4      DIMENSION IFO(128,116)
5      REAL A,B,I0,J0
6      READ (20) ((IFO(I,J),I=1,128),J=1,116)
7      SMF=0
8      SMI1F=0
9      SMJ1F=0
10     SMI2F=0
11     SMJ2F=0
12     SMI1=0
13     SMJ1=0
14     SMI2=0
15     SMJ2=0
16     SMI3=0
17     SMJ3=0
18     SMI4=0
19     SMJ4=0
20     DO 10 I=1,128
21     SMI1 = SMI1 + I-1
22     SMI2 = SMI2 + FLOAT(I-1)**2
23     SMI3 = SMI3 + FLOAT(I-1)**3.
24     SMI4 = SMI4 + FLOAT(I-1)**4
25     10 CONTINUE
26     DO 60 J=1,116
27     SMJ1 = SMJ1 + J-1
28     SMJ2 = SMJ2 + (FLOAT(J-1))**2
29     SMJ3 = SMJ3 + (FLOAT(J-1))**3.
30     SMJ4 = SMJ4 + (FLOAT(J-1))**4
31     60 CONTINUE
32     DO 70 I=1,128
33     DO 70 J=1,116
34     SIFO=IFO(I,J)
35     SMF = SMF + SIFO
36     SMI1F = SMI1F + SIFO*(I-1)
37     SMJ1F = SMJ1F + SIFO*(J-1)
38     SMI2F = SMI2F + SIFO*FLOAT(I-1)**2
39     SMJ2F = SMJ2F + SIFO*FLOAT(J-1)**2
40     70 CONTINUE
41     XNUMI=(128.*SMI2F-SMF*SMI2)*(128.*SMI3-SMI1*SMI2)
42     XNUMI=XNUMI-(128.*SMI1F-SMF*SMI1)*(128.*SMI4-SMI2**2)
43     DENI=(128.*SMI2F-SMF*SMI2)*(128.*SMI2-SMI1**2)
44     DENI=DENI-(128.*SMI1F-SMF*SMI1)*(128.*SMI3-SMI1*SMI2)
45     I0= XNUMI/(2*DENI)
46     XNUMJ=(116.*SMJ2F-SMF*SMJ2)*(116.*SMJ3-SMJ1*SMJ2)
47     XNUMJ=XNUMJ-(116.*SMJ1F-SMF*SMJ1)*(116.*SMJ4-SMJ2**2)
48     DENJ=(116.*SMJ2F-SMF*SMJ2)*(116.*SMJ2-SMJ1**2)
49     DENJ=DENJ-(116.*SMJ1F-SMF*SMJ1)*(116.*SMJ3-SMJ1*SMJ2)
50     J0= XNUMJ/(2*DENJ)
51     DISPLAY " I0 = ",I0,"          J0 = ",J0
52     RRI0=0
53     RRJ0=0
54     RRI1=0
55     RRJ1=0
56     DO 20 I=0,127
57     RRI0=RRI0+(FLOAT(I)-I0)**2

```

```
58      RRI1=RRI1+(FLOAT(I)-I0)**4
59      20  CONTINUE
60      DO 30 J=0,115
61      RRJ0=RRJ0+(FLOAT(J)-J0)**2
62      RRJ1=RRJ1+(FLOAT(J)-J0)**4
63      30  CONTINUE
64      D1=0
65      D2=0
66      D3=0
67      DO 40 I=1,128
68      DO 40 J=1,116
69      D1=D1+(FLOAT(I)-1-I0)**2*FLOAT(IF0(I,J))
70      D2=D2+IF0(I,J)
71      D3=D3+(FLOAT(J)-1-J0)**2*FLOAT(IF0(I,J))
72      40  CONTINUE
73      A11=(116*RRI0*D1)-(116*RRI1*D2)
74      A12=(128*RRJ0*D1)-(RRI0*RRJ0*D2)
75      A21=(116*RRI0*D3)-(RRI0*RRJ0*D2)
76      A22=(128*RRJ0*D3)-(128*RRJ1*D2)
77      B1=(116*RRI0*D2)-(116*128*D1)
78      B2=(128*RRJ0*D2)-(116*128*D1)
79      A=(A22*B1-A21*B2)/(A22*A11-A12*A21)
80      B=(A11*B1-A12*B2)/(A22*A11-A12*A21)
81      DISPLAY "A= ",A,"      B= ",B
82      50  DISPLAY "OK,"
83      STOP
84      END
```

```

.1 #CONTROL USLINIT
1 C PROGRAMA PARA REALIZAR LA CONVOLUCION DE UNA MATRIZ
2 C A(N,M) SOBRE UNA IMAGEN IEN(128,116).CONSIDERA NULOS
3 C LOS BORDES.FILE(40)=IMAGEN ENTRADA.FILE(20)=IMAGEN
4 C SALIDA.FILE(41)=MATRIZ A DE DIMEN. MAX 10*10.
5 DIMENSION A(30,30),IEN(128,116),IS(128,58)
6 READ (40) ((IEN(I,J)),I=1,128),J=1,116)
7 READ (41,1) N,M
8
9     1 FORMAT(212)
10.1 DISPLAY "MATRIZ DE CONVOLUCION (" ,N," ,",M," )"
11 DO 5 I=1,N
12 DO 5 J=1,M
13 READ (41,2) A(I,J)
14.1 DISPLAY A(I,J)
15     5 CONTINUE
16     2 FORMAT(F7,4)
17 NC=(N+1)/2
18 MC=(M+1)/2
19.1 JK=0
20 DO 40 J=1,116
21 DO 40 I=1,128
22.2 SUM=0.0
23 DO 30 IA0=1,N
24 DO 30 JA0=1,M
25 IO=IA0-NC+I
26 JO=JA0-MC+J
27 IF((IO.LT.1).OR.(IO.GT.128).OR.(JO.LT.1).OR.(JO.GT.116)) GOTO 30
28 SUM=A(IA0,JA0)*FLOAT(IEN(IO,J)) +SUM
29     30 CONTINUE
30 IS(I,(J-JK))=SUM
31.01 IF(I.NE.128) GOTO 40
32.1 IF(J-58) 40,35,40
33     35 JK=58
34 WRITE (20) ((IS(IK,JL)),IK=1,128),JL=1,58)
35.31 DISPLAY "*****"
36     40 CONTINUE
37 DISPLAY "OK CONVOLUCION"
38 WRITE (20) ((IS(I1,J1)),I1=1,128),J1=1,58)
39 DISPLAY "OK ESCRITURA"
40     60 IMA=255
41 IMI=0
42.01 REWIND 20
43.1 READ (20) ((IEN(I,J)),I=1,128),J=1,116)
44 DO 100 I=1,128
45 DO 100 J=1,116
46 IF(IEN(I,J)-IMA) 75,75,70
47     70 IMA=IEN(I,J)
48 GOTO 100
49     75 IF(IMI-IEN(I,J)) 100,100,80
50     80 IMI=IEN(I,J)
51     100 CONTINUE
52 DISPLAY "VALOR MAXIMO",IMA,"VALOR MINIMO",IMI
53.1 DISPLAY "DESEA CORRECCION DE NIVELES, SI=1,NO=0"
54.2 ACCEPT NCLA
55.3 IF(NCLA) 150,150,160
56.4     160 DO 120 I=1,128
57 DO 120 J=1,116

```

```

46     120 IEN(I,J)=(FLOAT(IEN(I,J))+IABS(IMI))*225./FLOAT(IMA+IABS(IMI)))
47 DISPLAY "O.K. CORRECCION"
48.01     150 REWIND 20
49.1 WRITE (20) ((IEN(I,J)),I=1,128),J=1,116)
50 STOP
51 END

```

```

1      C      PROGRAMA PARA REALIZAR LA CONVOLUCION CROMATICA LINEAL
2      DIMENSION IEN(128,116), IS(128,58), A(3,15,15), SUM(3)
3      COMMON XC(3)
4      READ (40) (( IEN(I,J), I=1,128), J=1,116)
5      READ (41,5) N,M
6      5      FORMAT (2I2)
7      NC=(N+1)/2
8      MC=(M+1)/2
9      C      LECTURA MATRIZ DE CONVOLUCION
10     DO 10 I=1,3
11     DO 10 J=1,N
12     DO 10 K=1,M
13     READ(41,11) A(I,J,K)
13.1   10 DISPLAY A(I,J,K)
14     11 FORMAT (F7,4)
15     JK=0
17     DO 60 J=1,116
17.1   DO 60 I=1,128
18     DO 25 IK=1,3
19     25 SUM(IK)=0
20     DO 30 K=1,3
21     DO 30 IA0=1,N
22     DO 30 JA0=1,M
23     IO=IA0-NC+I
24     JO=JA0-MC+J
25     IF((IO.LT.1).OR.(IO.GT.128).OR.(JO.LT.1).OR.(JO.GT.116))
26     CALL DESPAC ( IEN IO, JO),XC)
27     SUM(K)=SUM(K)+A(K, IA0, JA0)*XC(K)
28     30 CONTINUE
29     IS(I,J-JK)=MAX(SUM(1),SUM(2),SUM(3))
30     IF(I.NE.128) GOTO 60
31     50 IF(J-58) 60,51,60
32     51 JK=58
33     WRITE (20) (( IS(IL,JL), IL=1,128), JL=1,58)
33.1   DISPLAY "*****"
34     60 CONTINUE
35     WRITE (20) (( IS(IL,JL), IL=1,128), JL=1,58)
35.1   DISPLAY "fin convolucion"
36     61 IMA=255
37     IMI=0
37.1   LLN=127-NC
37.2   LLM=115-MC
38     REWIND 20
39     READ (20) (( IEN(I,J), I=1,128), J=1,116)
40     DO 100 I=1,128
41     DO 100 J=1,116
41.1   IF((I.LT.NC).OR.(J.LT.MC).OR.(I.GT.LLN).OR.(J.GT.LLM)) IE
42     IF(IEN(I,J)-IMA) 75,75,70
43     70 IMA=IEN(I,J)
44     GOTO 100
45     75 IF(IMI-IEN(I,J)) 100,100,80
46     80 IMI=IEN(I,J)
47     100 CONTINUE
48     DISPLAY "VALOR MAXIMO", IMA, "VALOR MINIMO", IMI
49     DISPLAY "DESEA CORRECCION DE NIVELES, SI=1,NO=0"
50     ACCEPT NCLA
51     IF(NCLA) 150,150,160

```

```
52     160 DO 120 I=1,128
53         DO 120 J=1,116
54     120  IEN(I,J)=(FLOAT(IEN(I,J))+IABS(IMI))*225./FLOAT(IMA+IABS(IMI)
55         DISPLAY "O.K. CORRECCION"
56     150  REWIND 20
57         WRITE (20) ((IEN(I,J),I=1,128),J=1,116)
58         STOP
59         END
60         SUBROUTINE DESPAC (IEN,XC)
61         DIMENSION XC(3)
62         RY=(FLOAT(IEN/2048)-8.)*64./7.
63         XI=AMOD(FLOAT(IEN),2048.)
64         XY=AMOD(XI,128.)
65         BY=((XI-XY)/128.-8.)*64./7.
66         SAT=SQRT((RY**2+BY**2)/2.)
67         FI=ATAN2(RY,(BY+0.001))
68         XC(1)=2.*XY
69         XC(2)=SAT
70         XC(3)=FI*255./((2.*3.141592)
71         RETURN
72         END
```

```

1 C PROGRAMA PARA ENCONTRAR EL GRADIENTE CROMATICO DE UNA
2 C IMAGEN EMPAQUETADA(FILE40) SEGUN ALFA=SQR(AL1**2+AL2**2)
3 DIMENSION IEN(128,116), IS(128,58), AC(6,15,15), SUM(3), SUM2(6)
4 COMMON XC(3)
5 READ (40) ((IEN(I,J),I=1,128),J=1,116)
6 READ (41,5) N,M
7 5 FORMAT (2I2)
8 NC=(N+1)/2
9 MC=(M+1)/2
10 C LECTURA MATRIZ DE CONVOLUCION
11 DO 10 I=1,6
12 DO 10 J=1,N
13 DO 10 K=1,M
14 READ(41,11) A(I,J,K)
15 10 DISPLAY A(I,J,K)
16 11 FORMAT (F7.4)
17 JK=0
18 DO 60 J=1,116
19 DO 60 I=1,128
20 DO 25 IK2=1,6
21 IK=FLOAT(IK2+1)/2.
22 SUM2(IK2)=0.
23 25 SUM(IK)=0.
24 DO 30 K=1,6
25 DO 30 IA0=1,N
26 DO 30 JA0=1,M
27 IO=IA0-NC+I
28 JO=JA0-MC+J
29 II=FLOAT(K+1)/2.
30 IF((IO.LT.1).OR.(IO.GT.128).OR.(JO.LT.1).OR.(JO.GT.116)) GOTO 30
31 CALL DESPAC (IEN(IO,JO),XC)
32 SUM2(K)=SUM2(K)+A(K,IA0,JA0)*XC(II)
33 30 CONTINUE
34 DO 40 IIJ=1,6,2
34.1 II=FLOAT(IIJ+1)/2.
35 40 SUM(II)=SQR(SUM2(IIJ)**2+SUM2((IIJ+1)**2)
36 IS(I,J-JK)=MAX(SUM(1),SUM(2),SUM(3))
37 IF(I.NE.128) GOTO 60
38 50 IF(J-58) 60,51,60
39 51 JK=58
40 WRITE (20) ((IS(IL,JL),IL=1,128),JL=1,58)
41 DISPLAY "*****"
42 60 CONTINUE
43 WRITE (20) ((IS(IL,JL),IL=1,128),JL=1,58)
44 DISPLAY "fin convolucion"
45 61 IMA=255
46 IMI=0
47 LLN=127-NC
48 LLM=115-MC
49 REWIND 20
50 READ (20) ((IEN(I,J),I=1,128),J=1,116)
51 DO 100 I=1,128
52 DO 100 J=1,116
53 IF((I.LT.NC).OR.(J.LT.MC).OR.(I.GT.LLN).OR.(J.GT.LLM)) IEN(I,J)=0
54 IF(IEN(I,J)-IMA) 75,75,70
55 70 IMA=IEN(I,J)
56 GOTO 100

```



```
57      75 IF<IMI-IEN<I,J>> 100,100,80
58      80 IMI=IEN<I,J>
59      100 CONTINUE
60      DISPLAY "VALOR MAXIMO",IMA,"VALOR MINIMO",IMI
61      DISPLAY "DESEA CORRECCION DE NIVELES, SI=1,NO=0"
62      ACCEPT NCLA
63      IF<NCLA> 150,150,160
64      160 DO 120 I=1,128
65      DO 120 J=1,116
66      120 IEN<I,J>=<FLOAT<IEN<I,J>+IABS<IMI>>*225./FLOAT<IMA+IABS<IMI>>>
67      DISPLAY "O.K. CORRECCION"
68      150 REWIND 20
69      WRITE <20> <<IEN<I,J>,I=1,128>,J=1,116>
70      STOP
71      END
72      SUBROUTINE DESPAD <IEN,XC>
73      DIMENSION XC<3>
74      RY=<FLOAT<IEN/2048>-8.>*64./7.
75      XI=AMOD<FLOAT<IEN>,2048.>
76      XY=AMOD<XI,128.>
77      BY=<<XI-XY>/128.-8.>*64./7.
78      SAT=SQRT<<RY**2+BY**2>/2.>
79      FI=ATAN2<RY,<BY+0.001>>
80      XC<1>=2.*XY
81      XC<2>=SAT
82      XC<3>=FI*255./<2.*3.141592>
83      RETURN
84      END
```

```

1      C      PROGRAMA PARA SEPARACION DE CLUSTERS
2      DIMENSION IENK(128,116),NC(256)
3      READ (20) ((IENK I, J), I=1,128), J=1,116)
4      DO 5 I=1,256
5          5      NC(I)=0
5.1      DO 7 I=1,128
5.2      IENK I, 1)=0
5.3      7      IEN (I,116)=0
5.4      DO 8 J=1,116
5.5      IENK I, J)=0
5.6      8      IENK(128, J)= 0
6      K=0
7      DO 70 J=2,116
8      DO 70 I=2,127
9      IF(IENK I, J) >> 70,70,10
10     10     IC=0
11     K1=0
12     K2=0
13     IF(IENK I+1, J-1) >> 70,12,11
14     11     K1=IENK I+1, J-1)
15     GOTO 13
16     12     IC=IC+1
17     13     IF(IENK I, J-1) >> 70,15,14
18     14     K1=IENK I, J-1)
19     GOTO 16
19.1    15     IC=IC+1
20     16     IF(IENK I-1, J-1) >> 70,18,17
21     17     K2=IENK I-1, J-1)
21.1    GOTO 19
22     18     IC=IC+1
23     19     IF(IENK I-1, J) >> 70,21,20
24     20     K2=IENK I-1, J)
25     GOTO 22
26     21     IC=IC+1
27     22     IF(IC.EQ.4) GOTO 30
28     IF(((K1+K2).NE.0).AND.((K1*K2).EQ.0)) GOTO 28
29     IF(K2.NE.K1) GOTO 200
30     K3=K1
31     GOTO 29
32     28     K3=K1+K2
33     29     IENK I, J)=K3
34     GOTO 70
34.1    30     K=K+1
35     IENK I, J)=K
36     NC(K)=1
37     GO TO 70
39     200    K3=MIN0(K1,K2)
40     K4=MAX0(K1,K2)
41     DO 205 IK=1, J-1
42     DO 205 IIK=1,128
43     IF(IENK IIK, IK).NE.K4) GOTO 205
44     IENK IIK, IK)=K3
45     205    CONTINUE
46     DO 206 IIK=1, I
47     IF (IENK IIK, J).NE.K4) GOTO 206
48     IENK IIK, J)=K3
49     206    CONTINUE

```

```
50          NC(K4)=0
51          70  CONTINUE
51.1         ICNT=0
51.2         DO 210 IC=1,K
51.3         IF(NC(IC).EQ.0) GOTO 210
51.4         ICNT=ICNT+1
51.41        DISPLAY "CLUSTER NUM.  ", ICNT
51.5         DO 209 I=2,127
51.6         DO 209 J=2,116
51.7         IF(IEN(I,J).NE.IC) GOTO 209
51.8         IEN(I,J)=ICNT
51.9         209  CONTINUE
51.91        210  CONTINUE
51.92        DISPLAY "NUM. DE CLUSTERS= ",ICNT
51.93        WRITE (25) ((IEN(I,J),I=1,128),J=1,116)
51.94        DISPLAY "O.K. ESCRITURA"
52          DISPLAY "NUM. CLUSTERS VALIDOS"
53          DO 225 I=1,K
54          IF(NC(I)) 225,225,223
55          223  DISPLAY "CLUSTER NUN", I
56          225  CONTINUE
57          STOP
58          END
```

```

1 #CONTROL USLINIT
2 C % PROGRAMA TDE TRAZADO DEL DIAGRAMA B-Y VS R-Y
3 DIMENSION IEN(128,58) ,IS(128,116)
4 JMIN=1
5 JMAX=58
6 JK=0
7 DO 4 I=1,128
7.01 DO 4 J=1,116
7.1 IF(I.GE.116) GOTO 2
8.01 IF(J.EQ.57) GOTO 3
8.02 1 IF(I.EQ.57) GOTO 3
8.03 2 IS(I,J)=0
8.04 GOTO 4
8.1 3 IS(I,J)=37
8.2 4 CONTINUE
9 5 READ (40) ((IEN(I,K),I=1,128),K=1,58)
9.1 DO 10 J=JMIN,JMAX
9.2 DO 10 I=1,128
10 RY=(FLOAT(IEN(I,(J-JK)))/2048)-8.)*58./7.
11 XI=AMOD(FLOAT(IEN(I,(J-JK))),2048.)
12 XY=AMOD(XI,128.)
13 BY=((XI-XY)/128.-8.)*58./7.
14 KI=BY+57.
15 KJ=57.-RY
16 IS(KI,KJ)=IS(KI,KJ)+1
18 10 CONTINUE
19 IF(JMAX-58) 30,30,40
20 30 JMAX=116
20.1 DISPLAY "OK 1"
21 JMIN=59
21.1 JK=58
22 GOTO 5
23 40 DISPLAY "O.K."
24 DO 50 I=1,128
25 DO 50 J=1,116
26 IF(IS(I,J)-928) 45,47,47
26.1 47 IS(I,J)=255
26.2 GOTO 50
26.3 45 IS(I,J)=(FLOAT(IS(I,J))*255./928.)
26.4 50 CONTINUE
27 WRITE (41) ((IS(I,J),I=1,128),J=1,116)
28 STOP
29 END

```

```

1      DIMENSION IEN(128,116), IH(256), A(5,5), B(5,1), C(4,4), D(4,1)
2      READ(20)(IEN(I,J), I=1,128), J=1,116)
3      DISPLAY "READ O.K."
4      DO 5 I=1,256
5      5 IH(I)=0
6      DO 10 I=1,128
7      DO 10 J=1,116
8      K=IEN(I,J)
9      IH(K+1)=IH(K+1)+1
10     10 CONTINUE
11     DISPLAY "HIST. O.K."
11.1   DO 11 I=1,256
11.2   ISUP=257-I
11.3   IF(IH(ISUP).NE.0) GOTO 12
11.31  11 CONTINUE
11.4   12 DO 13 I=1,ISUP
11.5   INF=I
11.6   IF(IH(INF).NE.0) GO TO 14
11.7   13 CONTINUE
11.8   14 CONTINUE
12     DO 15 I=1,5
13     B(I,1)=0.
14     DO 15 J=1,5
15     15 A(I,J)=0.
16     DO 20 I=INF,ISUP
17     A(1,1)=A(1,1)+1.
18     A(1,2)=A(1,2)+FLOAT(I-1)
19     A(1,3)=A(1,3)+FLOAT(I-1)**2
20     A(1,4)=A(1,4)+FLOAT(I-1)**3
21     A(1,5)=A(1,5)+FLOAT(I-1)**4
22     A(2,5)=A(2,5)+FLOAT(I-1)**5
23     A(3,5)=A(3,5)+FLOAT(I-1)**6
24     A(4,5)=A(4,5)+FLOAT(I-1)**7
25     A(5,5)=A(5,5)+FLOAT(I-1)**8
26     B(1,1)=B(1,1)+IH(I)
27     B(2,1)=B(2,1)+FLOAT(IH(I))*FLOAT(I-1)
28     B(3,1)=B(3,1)+FLOAT(IH(I))*FLOAT(I-1)**2
29     B(4,1)=B(4,1)+FLOAT(IH(I))*FLOAT(I-1)**3
30     20 B(5,1)=B(5,1)+FLOAT(IH(I))*FLOAT(I-1)**4
31     A(2,3)=A(1,4)
32     A(2,4)=A(1,5)
33     A(2,2)=A(1,3)
34     A(3,3)=A(2,4)
35     A(3,4)=A(2,5)
36     A(4,4)=A(3,5)
37     DO 25 I=2,5
38     DO 25 J=1,I-1
39     25 A(I,J)=A(J,I)
39.1   DO 30 I=1,4
39.2   D(I,1)=B(I,1)
39.3   DO 30 J=1,4
39.4   30 C(I,J)=A(I,J)
40     CALL GAUSS(5,A,B,IER)
41     IF(IER.NE.0) GO TO 70
41.1   IF(B(5,1)) 31,37,37
42     31 DISPLAY "LOS COEFICIENTES SON:"
43     DO 35 I=1,5

```

```

44      35 DISPLAY "B< ", I, " )=", B< I, 1 )
44.1     NUMBRAL= -B< 4, 1 )/( 4*B< 5, 1 )>+.5
44.2     DISPLAY "UMBRAL=", NUMBRAL
44.21    GOTO 75
44.3     37 CALL GAUSS< 4, C, D, IER )
44.4     IF< IER.NE.0 ) GOTO 70
44.5     NUMBRAL=( -D< 3, 1 )+SQRT< D< 3, 1 )**2-3*D< 2, 1 )*D< 4, 1 )>)/( 3*D< 4, 1 )>+.5
44.6     DISPLAY "INTERPOLACION CUBICA VALOR UMBRAL= ", NUMBRAL
44.7     DISPLAY "COEFICIENTES"
44.8     DO 38 I=1, 4
44.9     38 DISPLAY D< I, 1 )
45       GO TO 75
46       70 DISPLAY "ERROR EN GAUSS."
47       75 STOP
48       END
49       SUBROUTINE GAUSS ( N, A, B, IER )
50       DIMENSION IND< N, 2 ), IPIVOT< N ), A< N, N ), B< N, 1 )
51       INTEGER REN, COL
52       TOL=1.E-15
53       M=1
54       DET=1.
55       IER=0
56       DO 10 J=1, N
57   10    IPIVOT< J )=0
58       DO 120 IREN=1, N
59       AMAX=0.
60       DO 30 I=1, N
61       IF < IPIVOT< I ).EQ.1 ) GOTO 30
62       DO 20 J=1, N
63       IF < IPIVOT< J ).EQ.1 ) GOTO 20
64       IF < ABS< AMAX ).GT.ABS< A< I, J )> ) GOTO 20
65       REN=I
66       COL=J
67       AMAX=A< I, J )
68   20    CONTINUE
69   30    CONTINUE
70       PIVOTE=A< REN, COL )
71       IF < ABS< PIVOTE )-TOL ) 34, 34, 36
72   34    IER=1
73       GOTO 150
74   36    DET=DET*PIVOTE
75       IND< IREN, 1 )=REN
76       IND< IREN, 2 )=COL
77       IPIVOT< COL )=1
78       IF < REN.EQ.COL ) GOTO 60
79       DET=-DET
80       DO 40 J=1, N
81       CAMB=A< REN, J )
82       A< REN, J )=A< COL, J )
83   40    A< COL, J )=CAMB
84       IF < M.EQ.0 ) GOTO 60
85       DO 50 J=1, M
86       CAMB=B< REN, J )
87       B< REN, J )=B< COL, J )
88   50    B< COL, J )=CAMB
89   60    A< COL, COL )=1.
90       DO 70 J=1, N

```

```
91      70  A(COL,J)=A(COL,J)/PIVOTE
92      IF (M.EQ.0) GOTO 90
93      DO 80 J=1,M
94      80  B(COL,J)=B(COL,J)/PIVOTE
95      90  DO 120 I=1,N
96          IF(I.EQ.COL) GOTO 120
97          CERO=A(I,COL)
98          A(I,COL)=0.
99          DO 100 J=1,N
100     100  A(I,J)=A(I,J)-CERO*A(COL,J)
101          IF(M.EQ.0) GOTO 120
102          DO 110 J=1,M
103     110  B(I,J)=B(I,J)-CERO*B(COL,J)
104     120  CONTINUE
105          DO 140 IREN=1,N
106              I=N-IREN+1
107              IF(IND(I,1).EQ.IND(I,2)) GOTO 140
108              REN=IND(I,1)
109              COL=IND(I,2)
110              DO 130 I=1,N
111                  CAMB=A(I,REN)
112                  A(I,REN)=A(I,COL)
113     130  A(I,COL)=CAMB
114     140  CONTINUE
115     150  RETURN
116     END
```