

UTILIZACION DE LOS SENSORES REMOTOS EN LA PLANEACION
DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS

T E M A	PROFESOR	HORARIO	FECHA
1. FOTOGRAMETRIA	Ing. David Pérez Gavilán A.	17:00-21:00	19 y 20 Marzo
2. FOTOINTERPRETACION	Ing. Alejandro Guzmán Aguirre	17:00-21:00	22 y 23 marzo
3. CARTOGRAFIA	Ing. José Gonzalo Vargas	9:00-13:00 17:00-21:00	24 de marzo 26 de marzo
4. BASE GEOGRAFICA DE DATOS	Ing. José Cabrera Molina Dr. Adolfo Guzmán Arenas	17:00-21:00 17:00-21:00	27 de marzo 28 de marzo
5. SENSORES REMOTOS	Ing. David Pérez Gavilán A.	17:00-19:00	29 de marzo
6. MANEJO Y ANALISIS DE IMAGENES	Fis. Armando Jinich	19:00-21:00	30 de Marzo





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



UTILIZACION DE LOS SENSORES REMOTOS EN LA
PLANEACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS

FOTOGRAMETRIA

ING. DAVID PEREZ-GAVILAN ARIAS

MARZO, 1979

FOTOGRAMETRIA

1.1 Definición.- La fotogrametría se define de manera sencilla, como el arte de hacer planos y mapas por medio de las fotografías aéreas y terrestres. También se puede definir de otras dos formas; como el proceso que permite conocer la forma, dimensiones y ubicación, de los objetos fotografiados, a través de sus imágenes fotográficas correspondientes; y como la métrica aplicado a las fotografías.

1.2 Antecedentes.- El empleo de la fotogrametría en sus distintas formas data de muchos años atrás; es tan antigua como una ciencia específica. En el año de 1839 se hizo público el invento de la fotografía por Niepce y Daguerre; y cuando se logró hacer fotografías de un modo práctico, se pensó en aplicar el descubrimiento a los levantamientos cartográficos. No hubo duda en apreciar que la fotografía era el medio más ventajoso de conservar latentes los diferentes puntos y rayos provenientes de un objeto fotografiado, por corresponder a cada punto de éste, otro punto igual en la imagen, o por cada recta que pase por el primero, otra recta igual en el segundo. Pero había que pensar la manera de reconstruir en un momento dado, la forma y dimensiones de lo fotografiado; fue así como el capitán francés A. Laussedat, a quien se le atribuye ser el verdadero fundador de la fotogrametría inventó el primer método de Restitución basado en dos fotografías del mismo objeto, tomadas desde dos estaciones distintas, en este caso desde los extremos de una línea llamada Base. Las visuales que desde cada estación se dirigen hacia un objeto, forman dos haces de rectas cuyos centros de proyección son las estaciones de toma de fotografías precisamente de donde es posible deducir dos direcciones para fijar el punto de objeto e reproducir por --

intersecciones; de cada par de rayos homólogos de los dos haces de rectas. También pertenece a Lousstedt, el invento del primer aparato de Restitución Fotogramétrica.

En Fotogrametría el término restitución se define como la reconstrucción gráfica de la fotografía la, transportado a un plano; o también como el arte de elaborar planos y mapas topográficos a través de fotografías aéreas y terrestres.

Siendo el principio fundamental de cualquier tipo de fotografía la perspectiva central, se acudió a los estudios desarrollados por el ilustre J. H. Lambert 1759, para la transformación a una proyección ortogonal, conocidas dos proyecciones cónicas.

Tocó al Dr. Carlos Pulfrich, 1900-1915, dar a la Fotogrametría un gran impulso, con la introducción de la ESTEREOFOTOGRAMETRÍA o Fotogrametría Estereoscópica, método que resultó ser exacto para las mediciones. Asimismo, construyó múltiples aparatos de restitución aplicables a pares de vistas fotográficas estereoscópicas.

La primera Guerra Mundial, 1914-1930, aceleró la aplicación de la Fotogrametría aérea, al buscar métodos utilizables con fines puramente militares; se idearon cámaras aéreas y todos los implementos que para tal misión eran necesarios.

A través del largo camino que intensas investigaciones para el mejor desarrollo de la fotogrametría, se han sucedido grandes acotencimientos con la intervención de numerosos investigadores, hasta llegar a nuestros días en que el ejercicio de esta materia ha llegado a alcanzar un nivel muy considerable al grado de haberla incorporado a la computación electrónica. En México el campo de acción de la Fotogrametría es muy vasto, pero su desarrollo ha sido lento. En la actualidad pocas empresas se dedican a la práctica de la fotogrametría.

Existen tres tipos diferentes de fotografías aéreas, a saber:

- i.- Vertical. Cuando el eje óptico de la cámara está en una posición vertical.
- ii.- Inclinada. Cuando se tiene una inclinación, que no es intencional, y no se puede prever, del eje óptico de la cámara.
- iii.- Oblicua. Cuando intencionalmente se inclina el eje óptico de la cámara. Existen dos clases de fotografías oblicuas, la primera se llama oblicua baja y es cuando la fotografía no aparece el horizonte aparente y la segunda llamada oblicua alta porque si contiene el horizonte aparente.

Las fotografías aéreas se pueden clasificar como, de angular normal, gran angular y super gran angular. El ángulo α se mide con respecto al eje de los haces de luz que llegan al lente de la cámara (Fig. 1)

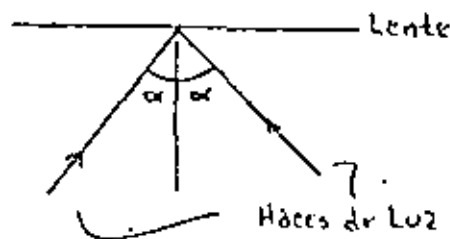


Fig. 1.

- | | |
|--------------------------------------|---------------------|
| $50^{\circ} < \alpha < 70^{\circ}$ | angular normal |
| $80^{\circ} < \alpha < 100^{\circ}$ | gran angular |
| $100^{\circ} < \alpha < 130^{\circ}$ | super gran angular. |

tría; y en las instituciones docentes de Enseñanza Superior, ha faltado visión para avocarse a la enseñanza de tan importante disciplina.

1.3 Aplicaciones.- El aporte de la Fotogrametría a las actividades humanas es positivamente importante y su campo principal lo constituye la Topografía, en donde de manera considerable se aplica con gran éxito. A lo anterior se añaden múltiples usos de la fotogrametría, tanto en la investigación como en el aspecto práctico; así por ejemplo: se aplica a estudios y proyectos de obras de Ingeniería Civil; en levantamientos de exploración en general para el conocimiento y evaluación de los recursos naturales y humanos del País, de una región; tiene gran importancia en la solución de problemas catastrales, urbano y rural; - se aplica en estudios arqueológicos y en muchos otros casos específicos. Asimismo, conociendo la función más amplia de una planificación, que es la de representar las formaciones topográficas y las obras humanas existentes en una región determinada, con la mayor fidelidad posible, conviene advertir que no existen métodos más ventajosos que los procedimientos fotogramétricos para ello.

ESTEREOFOTOGRAMETRIA

La estereofotogrametría nos proporciona un medio objetivo de lo fotografiado, permitiéndonos la facultad y con la mayor comodidad en gabinete, de conocer la fisonomía del terreno en relieve; asimismo todo su contenido; natural y artificial; todas sus formaciones; sus pendientes; su vegetación, etc., etc. Es sin duda, la base fundamental para los fines de Fotointerpretación.

1.4 Clasificación de las fotografías aéreas.

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LAS FOTOGRAFÍAS AEREAS

2.1 Componentes de la cámara aérea

A continuación se describe en forma general las principales componentes de una cámara aérea, ya que describir cada una de las diferentes cámaras llevaría mucho tiempo, y por otro lado ya estaría fuera de los propósitos de estas notas.

Las partes principales de una cámara son: 1) lentes, que incluye los lentes, el diagrama, el disparador y el filtro; 2) Plano focal; 3) cono de la cámara; 4) cuerpo de la cámara; 5) mecanismo de movimiento de la película; 6) película.

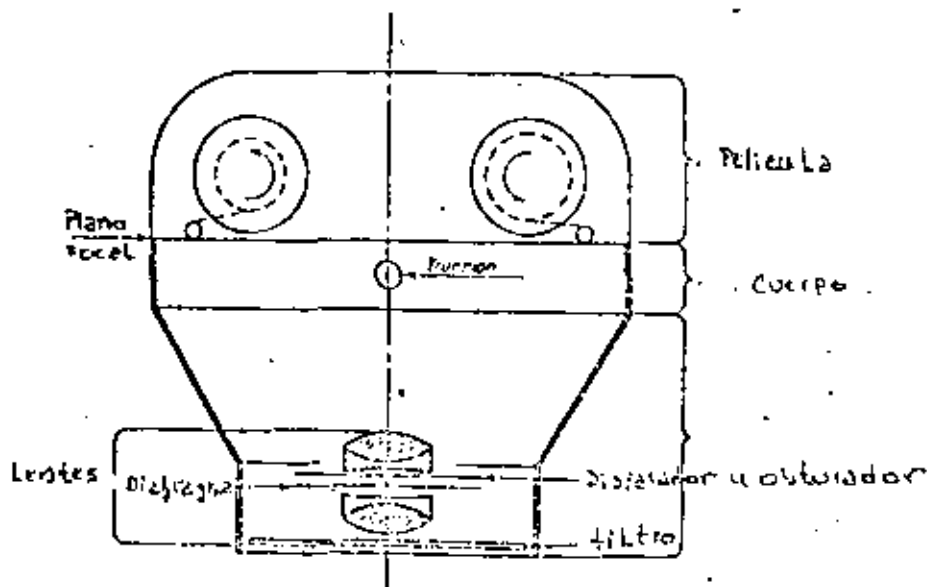


Diagrama esquemático de una cámara aérea

donde:

f - distancia focal

D - distancia al objetivo (siempre positiva)

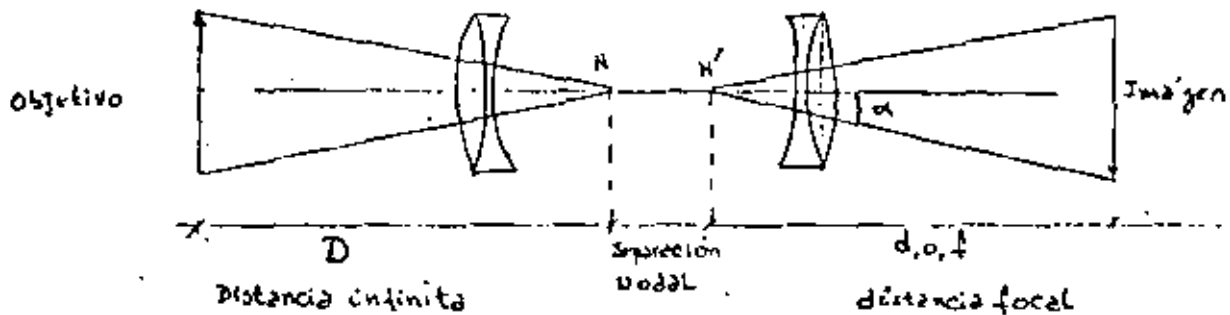
d - distancia a la imagen (positiva si la imagen se encuentra en el lado opuesto, negativa en caso contrario)

para propósitos prácticos, se puede considerar que $D = \infty$, por lo que

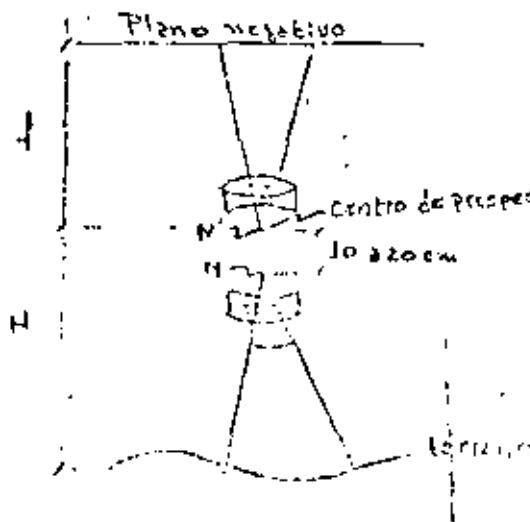
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{d}$$

$$\underline{f = d}$$

Cuando se consideran dos lentes, como es el caso de las cámaras fotográficas, tenemos el siguiente caso:



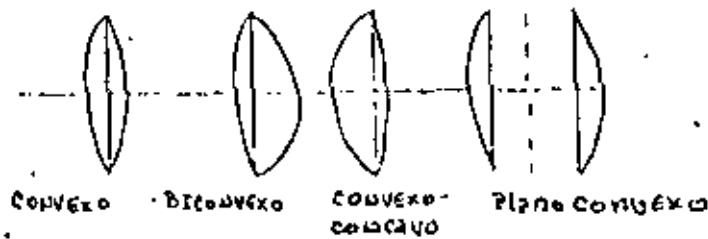
y haciendo la equivalencia a la distancia focal en fotos aéreas, tenemos



2.2 Lentes

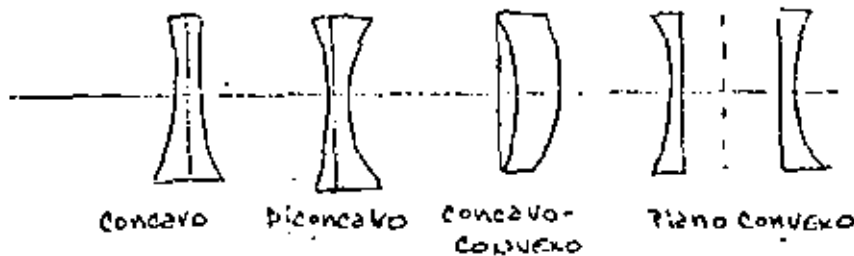
Medios ópticos con superficies esféricas: Existen varios tipos de diferentes lentes, a saber:

2.2.1 Convergentes (positivos o convexos)



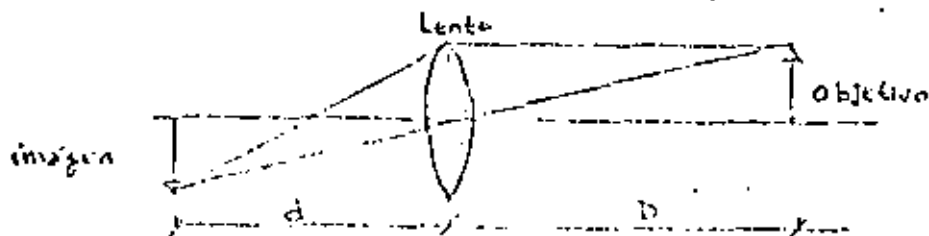
en estos la distancia focal es positiva

2.2.2 Divergentes (negativos o cóncavos)



en estos la distancia focal es negativa.

Todos los lentes se guían bajo la ley básica de los lentes, la cual es:



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{D} + \frac{1}{d}$$

donde f varía entre $6''$ y $12''$ dependiendo de la cámara que se use.

3. Distorsión de los lentes

Se tienen dos tipos de distorsión

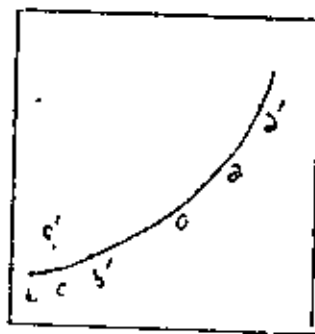
i.- Radial

(+) Si la distorsión es hacia afuera

(-) Si la distorsión es hacia adentro

ii.- Tangencial

desplazamiento perpendicular a la línea radial (C')



$a' (+)$

$b' (-)$

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LAS FOTOGRAFÍAS AERÉAS

3.1 Definiciones.- Algunas de las definiciones que se presentan a continuación ya han sido expuestas con anterioridad, pero aquí se agrupan todas por conveniencia.

Fotografía Vertical.- Aquella foto tomada con el eje óptico coincidiendo con la dirección de la gravedad.

Fotografía Inclínada.- Aquella fotografía tomada con el eje óptico inclinado inintencionalmente, generalmente menos de 3° .

Distancia Focal.- La distancia del nodo frontal de los lentes, al plano de la fotografía. - Distancia ζ en la fig. 3.1.

Altura de Vuelo.- Elevación de la plataforma de toma de fotos con respecto al nivel del mar o del terreno.

Eje X.- La línea que une las dos marcas características opuestas, y que es casi paralela a la línea de vuelo. Línea x-x en fig. 3.1.

Eje Y.- La línea que une las dos marcas de la foto y formando un ángulo de 90° con el eje x. ver fig. 3.1.

Punto Principal.- El punto en que una perpendicular del nodo frontal atraviesa la fotografía, punto 0 en la fig. 3.1. Normalmente este punto se supone localizado en la intersección x - y.

Punto de Nadir.- El punto donde una plomada desde el nodo frontal atraviesa la foto, punto n en la fig. 3.1.

Inclinación. - (Tilt). El ángulo formado entre el eje óptico y la plomada, α en la fig. 3.1 .

Plano Principal. - El plano vertical que contiene el eje óptico, plano n^o en la fig. 3.1

Línea Principal. - La intersección del plano principal, con el plano de la fotografía, línea n^o en la fig. 3.1

Giro. El ángulo medido en la fotografía, entre el eje positivo de las Y a la línea que une el punto principal y el deludir, ángulo ϕ en la fig. 3.1

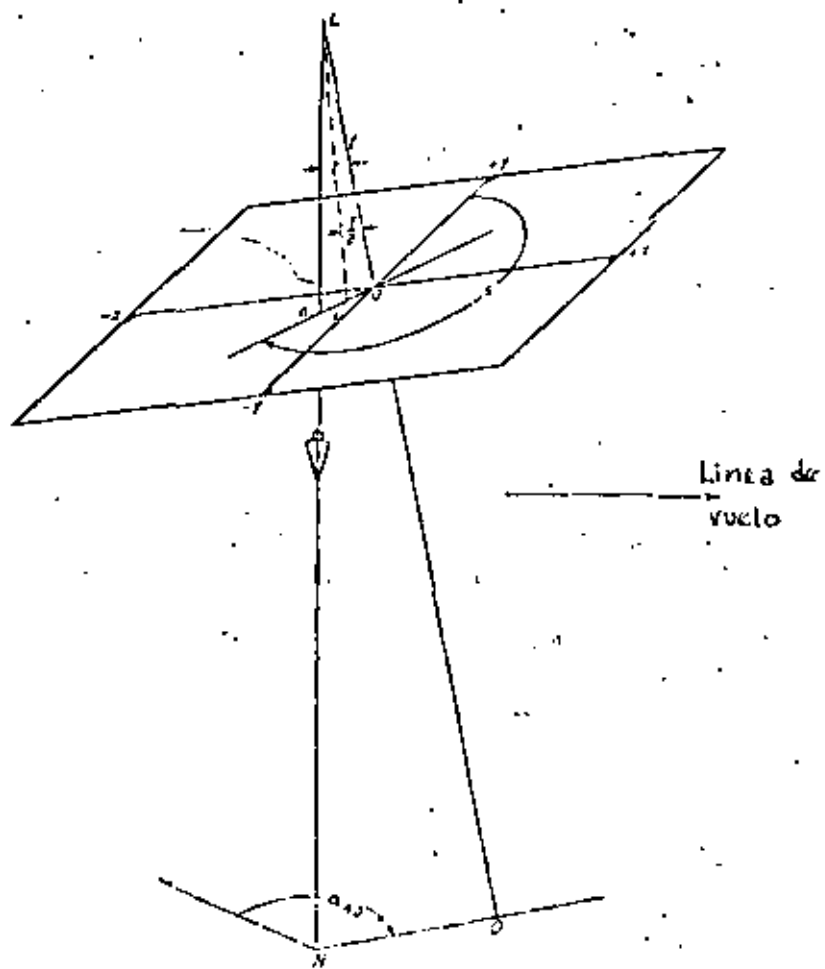


Fig. 3.1 Geometría de una fotografía aérea vertical.

3.2 Escala de las fotografías verticales.

La escala de una fotografía varía de un punto a otro, en la foto, ya que, depende de la elevación de los puntos en el terreno. A mayor altura del terreno, mayor será la escala de la fotografía para esa área.

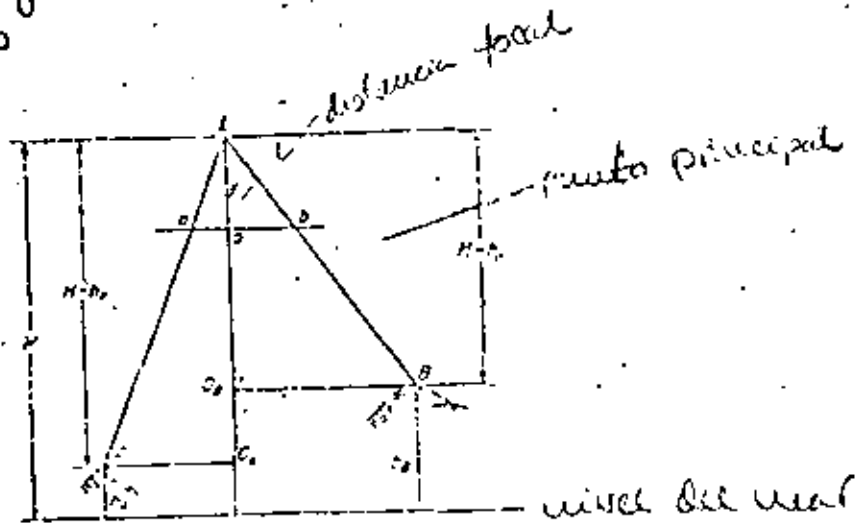
La escala de la fotografía es $20/AD_1$, por triángulos semejantes $20/f = \frac{1}{4.6}$
 Para b, por triángulos semejantes $20/O_2D_2 = \frac{1}{11-7.5}$
 Se puede denotar que la escala de una foto para cualquier elevación, se puede -

obtener a partir de la relación

$$S_h = \frac{f}{H-h} \quad (3.1)$$

- donde: S_h - Escala a la elevación h
 f - distancia focal
 H - Altura de vuelo a nivel del mar o dato base
 h - Elevación del punto del nivel del mar o dato base.

donde H y h tienen que estar en las mismas unidades



escala de una fotografía.

$H = 2700 \text{ ft}$ del nivel del mar
 $h_1 = 25 \text{ ft}$ o $h_2 = 724 \text{ ft}$, $f = 6 \text{ in}$

$$S_1 = \frac{6}{2700 - 25} = \frac{1}{450} \quad \text{o } 1 \text{ in} = 450 \text{ ft}$$

$$S_2 = \frac{6}{2700 - 724} = \frac{1}{325} \quad \text{o } 1 \text{ in} = 325 \text{ ft}$$

$S = \frac{f}{H-h}$

Cuando se habla de la escala de la fotografía en una área, se puede considerar la misma escala sólo cuando el área tiene una elevación constante.

$$\text{Escala de la foto} = \frac{\text{dist. en la foto}}{\text{dist. en el mundo}} = \frac{f}{H-h}$$

Es por lo anteriormente expuesto que, en general en la planeación de vuelos fotográficos, la escala es un promedio de escalas dentro de la foto.

$$S_{prom} = \frac{f}{H-h_{prom}}$$

3.3 Coordenadas terrestres de una fotografía vertical.

Debido a que no se puede determinar directamente la distancia en la tierra de dos puntos, midiéndolos en una fotografía, a menos que estos se encuentren a la misma altura, es necesario el determinar las coordenadas terrestres de los mismos con respecto a ejes en la tierra y mediante el teorema de Pitágoras determinar esta distancia.

Supongamos que se quiere determinar las coordenadas terrestres de dos puntos A y B, cuyas elevaciones son h_A y h_B respectivamente, fig. 3.2. Los puntos a y b son los correspondientes en la foto, cuyas coordenadas medidas son (X_a, Y_a) y (X_b, Y_b) .

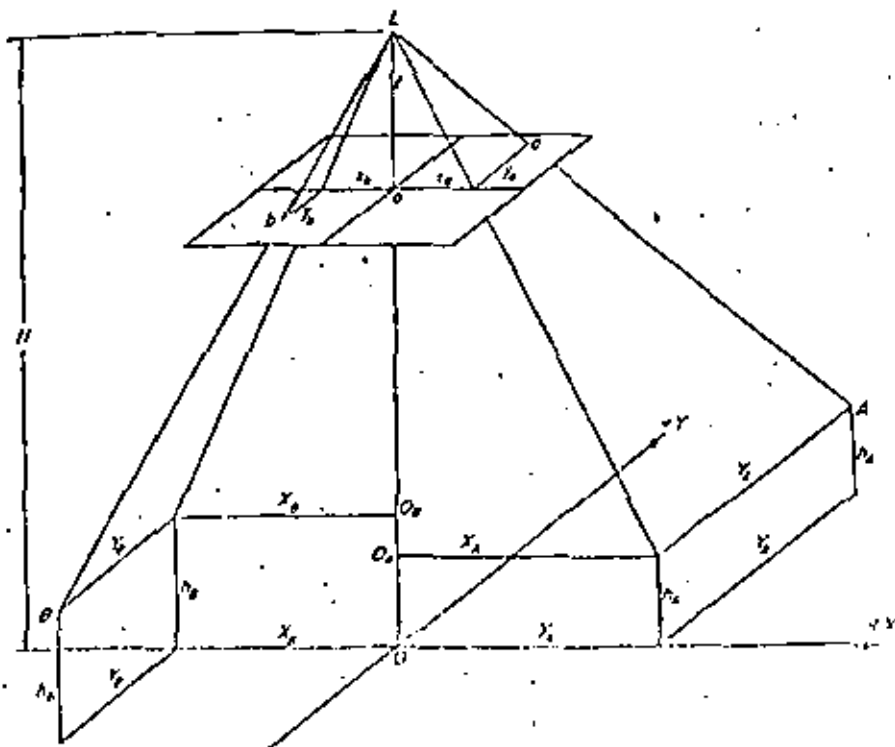


Fig. 3.2 Coordenadas terrestres obtenidas a través de mediciones en los correspondientes significados

- donde:
- H aprox - altura aproximada
 - ab - distancia entre dos puntos en la fotografía
 - AB - distancia entre dos puntos en el terreno
 - h_{AB} - elevación promedio de los puntos A y B
 - f - distancia focal

El método de solución es como sigue:

Primeramente se estima un valor aproximado de H, con el cual se obtienen las coordenadas (X_A, Y_A) y (X_B, Y_B) mediante las ecuaciones 3.2 y 3.3, segundo, se obtiene un valor de la distancia AB utilizando el valor H aprox. y esta distancia se compara con la distancia correcta AB para obtener un valor más cercano al real de H, mediante la siguiente expresión

$$\frac{H - h_{AB}}{H_{aprox} - h_{AB}} = \frac{AB_{correcta}}{AB_{calculada}}$$

a partir de aquí se calcula los nuevos valores de las ecuaciones 3.2 y 3.3 y se sigue al mismo procedimiento hasta obtener la precisión deseada, comunmente esta es del orden de 1/5000.

3.5 Desplazamiento por relieve en fotografías verticales.

Virtualmente todos los puntos en una fotografía tienen un pequeño desplazamiento de su proyección en el terreno, debido a su elevación con respecto al nivel del mar (o plano) como se puede ver en la fig. 3.4, el punto a tiene un desplazamiento Δa el cual es conocido como el desplazamiento por relieve.

en donde:

S_I - escala de una fotografía inclinada en un punto determinado

h - altura del punto

f - distancia focal

t - inclinación de la foto (en grados)

y' - es la coordenada y del punto, con respecto a unos ejes cuyo origen está en el nodir, y cuyo eje y' coincide con la línea principal

3.7 Coordenadas terrestres de una fotografía inclinada.

Una vez obtenidos los datos para determinar la escala de un punto en este tipo de fotografías, se pueden obtener sus coordenadas terrestres.

A partir de la fig. 3.5, se puede demostrar que

$$X = \frac{H-h}{f \cos t - y' \sin t} \quad y' \quad (3.7)$$

en donde X - coordenada terrestre X del punto

y' - coordenada y' del punto con respecto a los mismos ejes obtenidos para determinar la escala

$$Y = \frac{H-h}{f \cos t - y' \sin t} \quad y' \cos t$$

donde Y - coordenada Y terrestre del punto.

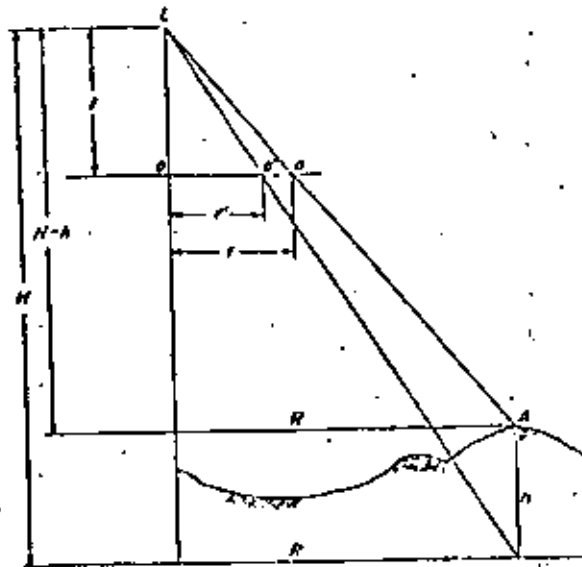


Fig 3.4. Desplazamiento por relieve

En una fotografía vertical, se tiene el desplazamiento por relieve de una línea radial del punto principal, y por lo tanto este no tiene desplazamiento.

Para calcular este desplazamiento se puede demostrar que:

$$d = \frac{r'h}{H-h} \quad (3.5)$$

- donde:
- d = desplazamiento por relieve de un determinado punto
 - r' = distancia radial del punto principal a la imagen del punto
 - h = elevación del punto
 - H = altura del vuelo.

3.6 Escala de una fotografía inclinada

Una fotografía inclinada de un terreno sin cambios de elevación, no tiene una -

tipo vertical

$\Delta H = 8527 ft$

$h_A = 580 \quad h_D = 800 ft$

$\downarrow = 6.008 in$

$x_A = -2.154 in \quad x_B = 1.924 in$

$y_A = 3.320 in \quad y_B = 0.104 in$

dist $\overline{AB} = 5.350$

calcular la altura de vuelo

$\frac{dist\ total}{dist\ terreno\ aprox} = h_{20}$

$\frac{5.350 in}{8527 ft} = \frac{6.008 in}{Aprox - (104860)}$

$H = 10296 ft$

$x_A = \frac{H - h_B}{\downarrow} (x_B) = -3,481.4$

$y_A = +5,269.04 ft$

$x_B = 3,068.94 ft$

$y_B = 163.3 ft$

dist $\overline{AB} = \sqrt{(x_A + x_B)^2 + (y_A + y_B)^2} = 8527 ft$

una segunda aprox de H se obtiene como

$\frac{H_{Aprox} - h_{AD}}{H - h_{AB}} = \frac{Abcorta}{AD calculada} \quad \frac{H_{Aprox} - 720}{10296 - 720} = \frac{8527}{8575}$

$H = 10242$

$x_A = \frac{10242 - 580}{6.008} (-2.154) = -3454 ft$

$y_A = 5329.2 ft$

$x_B = \frac{10242 - 800}{6.008} (1.924) = 3,051.2 ft$

$y_B = -162.44 ft$

$\overline{AB} = \sqrt{(6515.3)^2 + (5501.6)^2} = 8527$

$H = 10242$

por triángulos iguales

$$\frac{L_0}{L_{0A}} = \frac{x_0}{x_A} = \frac{y_0}{y_A} = \frac{f}{H-h_A} \quad \text{y} \quad \frac{L_0}{L_{0B}} = \frac{x_0}{x_B} = \frac{y_0}{y_B} = \frac{f}{H-h_B}$$

Por lo tanto, las coordenadas terrestres de un punto, están dadas por las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} X &= \frac{H-h}{f} x \\ Y &= \frac{H-h}{f} y \end{aligned} \quad (3.3)$$

donde X y Y son las coordenadas terrestres del punto, H es la altura de la plataforma con respecto al nivel del mar, h es la elevación del punto, x, y son las coordenadas del punto medidas en la fotografía y f es la distancia focal, en las mismas unidades que x, y

3.4 Altura de vuelo de una fotografía vertical.

La altura del vuelo puede determinarse a partir de la distancia conocida entre dos puntos, fácilmente identificables en la fotografía y su altura, utilizando el teorema de Pitágoras

$$D^2 = \left[\frac{H-h_B}{f} x_B - \frac{H-h_A}{f} x_A \right]^2 + \left[\frac{H-h_B}{f} y_B - \frac{H-h_A}{f} y_A \right]^2$$

donde: D - distancia en el terreno entre dos puntos conocidos
 h_A y h_B - elevaciones de los puntos
 f - distancia focal
 H - altura de vuelo

Un método indirecto de solución para H es por aproximaciones sucesivas, el cual es casi siempre más rápido que el método directo, esto es

$$\frac{f}{H_{\text{max}} - h_0} = \frac{DB}{AB} \quad (3.4)$$

El punto de radió es el centro de los ejes
de la fig $w_p = x'$ y $w_P = x$
la escala de los planos

k_{w0} y NWP está dada por (2.6)

$$s_I = \frac{f \sec t - y' \sec t}{H-h}$$

por lo tanto

$$\frac{w_p}{w_P} = \frac{x'}{x} = \frac{f \sec t - y' \sec t}{H-h}$$

y: $x = \frac{f \sec t - y' \sec t}{H-h}$

de la fig

$$\frac{k_w}{NWP} = \frac{k_w}{y} = \frac{NWP \cos t}{y} = \frac{y' \cos t}{y} = \frac{f \sec t - y' \sec t}{H-h}$$

$$y = \frac{H-h}{f \sec t - y' \sec t} y' \cos t$$

EL VUELO FOTOGRAMETRICO

4.1 Elementos básicos

Los elementos básicos en la planeación de un vuelo son: altura de vuelo con respecto al nivel del mar (o plano de referencia), distancia terrestre entre fotografías sucesivas, y la distancia entre líneas de vuelo.

A lo largo de la línea de vuelo, las fotos son tomadas con una frecuencia tal que se superpongan una a otra aproximadamente 55 a 60%, a este porcentaje se le llama sobreposición o traslape (over lap). Debido a que este traslape es mayor del 50%, las fotografías alternadas tendrán una sobreposición del 10 al 30 por ciento. Este traslape entre tres fotos consecutivas es necesario para extender el control fotogramétrico tanto horizontal como vertical, y para poder tener una visión estereoscópica del terreno.

La sobreposición entre líneas de vuelo es del orden de 15 a 35 por ciento, y es necesario para tener una buena cobertura del terreno.

4.2 Cobertura efectiva de las fotografías.

El factor que tiene una contribución más directa en la determinación del traslape, tanto vertical como horizontal, durante la planeación de un vuelo, es la cobertura efectiva de cada fotografía, el cual depende en el tamaño del plano focal, la distancia focal y en la cobertura angular de los lentes.

La cobertura angular efectiva de un lente gran angular se usa como base para establecer el traslape tanto de fotografías continuas, como de sucesivas líneas de vuelo, - ver fig. 4.1.

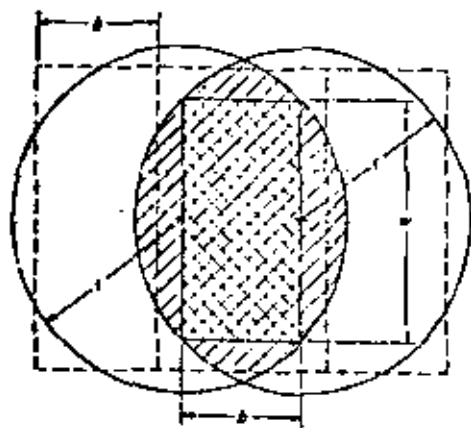


fig. 4.1.- Cobertura efectiva

El área efectiva de traslape entre las dos fotografías, está delimitada por los círculos superpuestos, los cuales representan la cobertura efectiva de las fotografías. El valor de r es igual a $f(\tan \alpha/2)$, en donde f es la distancia focal y α es la cobertura angular del lente, h es igual a $r \tan 45^\circ$, el cual representa la distancia (a vuelo) entre fotografías suce

sivos, w representa la distancia (a escala) entre dos líneas de vuelo sucesivas.

4.3 Cálculo del plan de vuelo.

Los datos requeridos para calcular el intervalo de tiempo entre fotografías, determinación de líneas de vuelo, y la cantidad de película necesaria para fotografiar toda el área requerida son:

- a distancia focal de la cámara a usar
- b Altura de vuelo a escala de la fotografía a una determinada elevación
- c Tamaño de la fotografía
- d Tamaño del área por fotografiar (si el área es irregular, las irregularidades tienen que ser tomadas en cuenta para determinar la dirección óptima de las líneas de vuelo)
- e Traslape en fotografías continuas
- f Traslape entre líneas de vuelo
- g Velocidad del avión.

ESTEROSCOPIA Y PARALAJE

5.1 Estereoscopia.

Se conoce como estereoscopia o paralaje al siguiente fenómeno natural: Cuando una persona, al ver simultáneamente dos fotografías que fueron tomadas de la misma área desde dos diferentes posiciones, y viendo cada una con distinto ojo, puede ver la imagen del área en tres dimensiones.

Para la visión estereoscópica, principalmente influyen dos factores:

- a) El fenómeno de doble visión
- b) La convergencia relativa del eje óptico de los dos ojos, cuando se miran puntos o diferentes distancias de ellos. Ver fig. 5.1

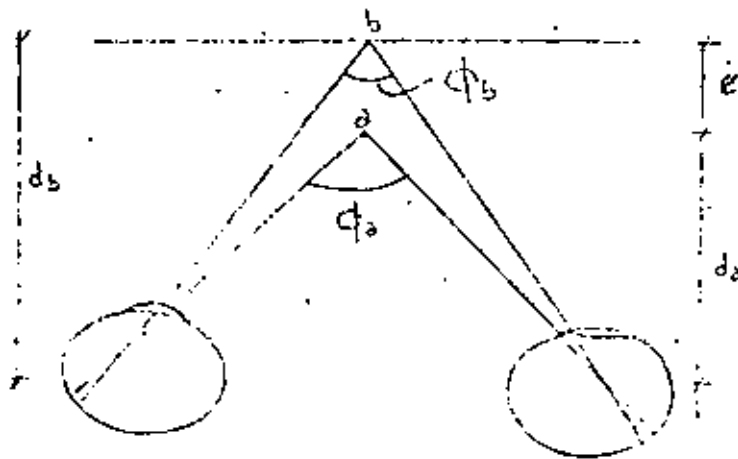


Fig 5.1 Ángulos de paralaje de los ejes ópticos

Los ángulos ϕ_a y ϕ_b son los llamados ángulos paralácticos de dos puntos.

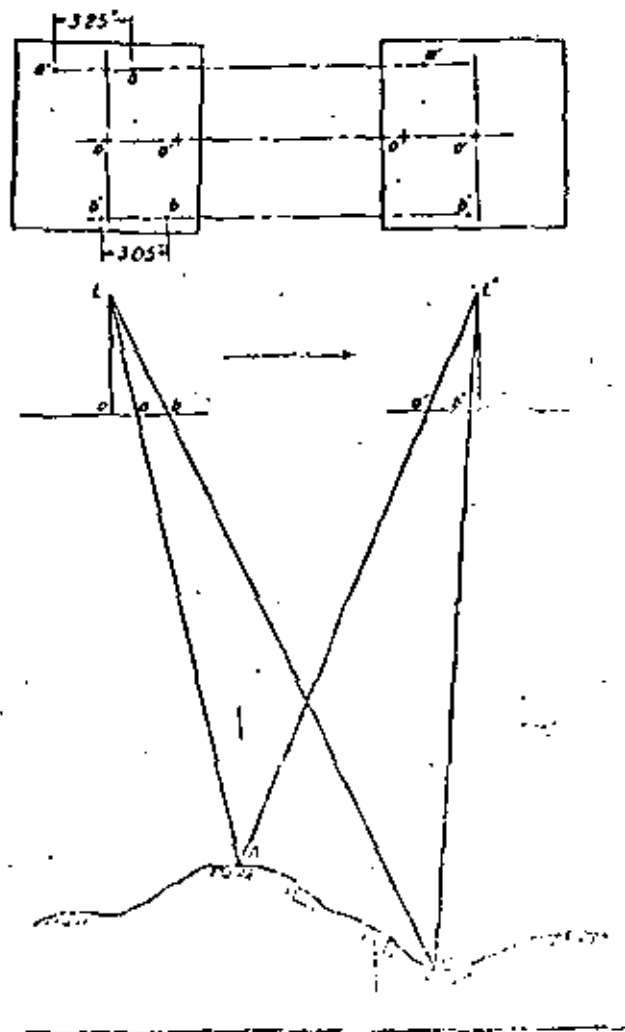
No es posible tener visión estereoscópica a distancias menores de aproximada-

mente 23 cm, sin la ayuda de lentes, esto se debe a que el ojo normal no puede enfocar fácilmente en distancias menores. Por otro lado, no es posible mediante visión estereoscópica, distinguir profundidades mayores de aproximadamente 800 m, debido a que a mayores distancias el ángulo paralático es muy pequeño.

5.2 Paralaje

El término paralaje se aplica al movimiento de la imagen de un punto fijo, con respecto a la imagen de otro punto fijo, cuando se mueven los ojos hacia los lados.

Es por esto que se dice que los objetos identificados dentro de una fotografía aérea tienen paralaje, debido a que el avión tiene una cierta velocidad, y las cámaras aéreas no toman una foto continua, si no una serie de fotografías a intervalos regulares - ver fig. 5.2.



Es por esto que se puede concluir que:

- En dos fotografías sucesivas, la imagen de cada punto del terreno se ha movido una cierta distancia (la cual depende de la elevación del mismo).

- Cuando existen cambios en la elevación del terreno, la imagen de cada uno de los puntos, tiene una pequeña diferencia en paralaje, con el punto adyacente. Es por esta diferencia de punto a punto en paralaje, la que hace posible la visión estereoscópica.

- El ^{mirímetro}minotraslape entre fotografías sucesivas, para tener una visión estereoscópica del total del área contenida en una foto, tiene que ser al menos del 50%.

5.3 Factores que afectan la visión estereoscópica.

Das fotografías con traslape son verdaderamente verticales, si cada una de ellas ha sido tomada a la misma altura de vuelo.

Bajo condiciones normales, algunos factores que afectan la fotografía y la orientación de la misma, pueden hacer que se dificulte o se imposibilite la visión estereoscópica, estos son:

- 1.- Diferentes alturas de vuelo en fotografías consecutivas.
- 2.- Inclinação de la fotografía en la toma.
- 3.- Desviaciones en la línea de vuelo
- 4.- Gran diferencia en paralaje entre fotografías consecutivas.

5.4 Exageración vertical en una imagen estereoscópica.

Cuando una persona examina estereoscópicamente un par de fotografías con traslape, siente una cierta exageración en la escala vertical en la imagen estereoscópica, esto es, está conciente de que existe una cierta disparidad entre los escalas vertical y horizontal.

La exageración vertical es causada por cambios reales o aparentes de paralaje entre los puntos en las fotografías.

El principal contribuyente en la visión estereoscópica o la exageración vertical en una imagen estereoscópica, es el radio que existe entre la distancia en el terreno entre dos puntos centrales de las fotografías a la altura de vuelo considerada a partir de la elevación promedio del terreno. La distancia en el terreno entre dos fotografías se le llama base aérea, la cual se designa con la letra B , (ver fig. 5.3). A la relación existente entre la altura de vuelo y la base aérea se le conoce como el radio base-altura, y se le designa como B/H , donde H significa la altura de vuelo promedio, con respecto al terreno.

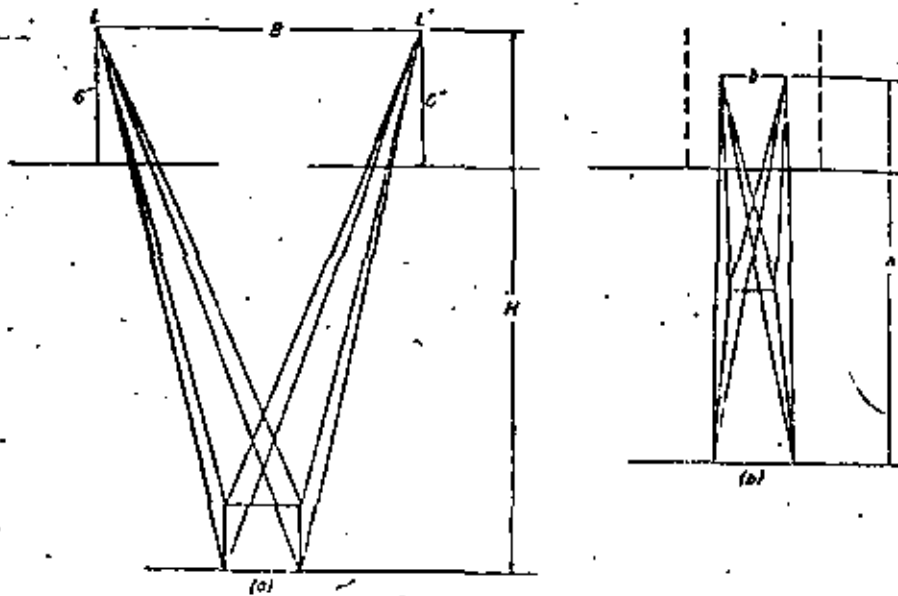


fig 5.3. Exageración Vertical

MOSAICOS FOTOGRAFICOS

Se llama mosaico fotográfico al conjunto de fotografías dispuestas ordenadamente por líneas, cuyo conjunto representa el área de terreno levantada. Existen varios tipos de mosaicos, entre los cuales se citan los siguientes: mosaico de contacto o fotoíndice, mosaico rectificado y fotoplano.

6.1 Mosaico de contacto o fotoíndice.

Se llama mosaico de contacto o fotoíndice al formado por las fotografías de contacto en sus tamaños reales colocadas ordenadamente en forma consecutiva en el sentido de las líneas de vuelo y en el sentido lateral correlacionando las líneas paralelas adyacentes; y se llama fotoíndice también, porque en él se aprecia la nomenclatura de las fotografías en forma consecutiva también y el orden de líneas paralelas adyacentes, tal como se ven en la fig. 6.1

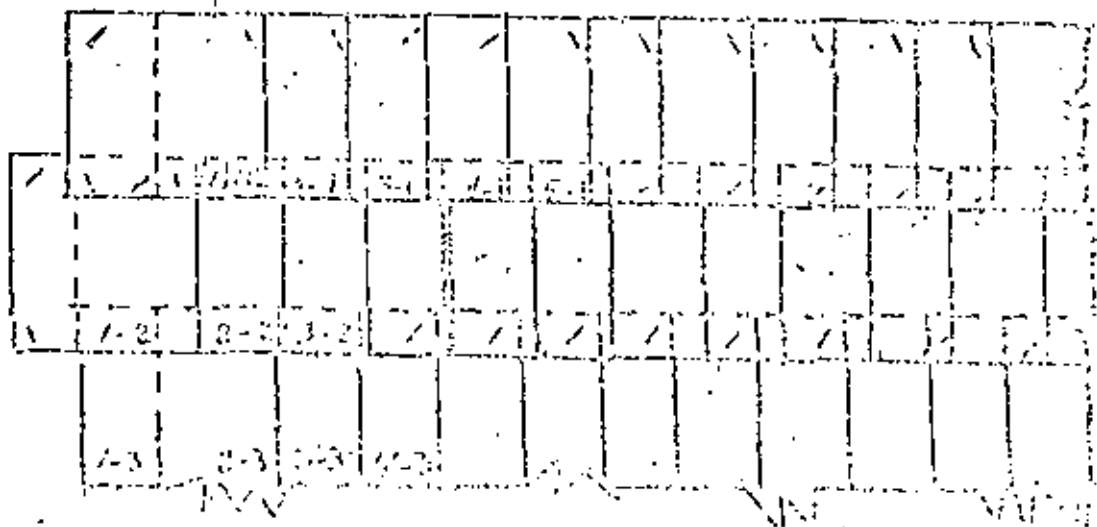


Fig. 6.1. Esquema de un mosaico de contacto.

6.2 Elaboración de un mosaico de contacto.

Un mosaico de contacto se elabora de la siguiente manera: en tableros de dimensiones especiales de 3 x 4 m de 4 x 5 m. etc., cuya cubierta puede ser de madera, de fibra cel, de celotex, etc., en posición horizontal o vertical, como se ve en la fig. 6.2 y 6.3 - se van engrapando las fotografías por líneas, teniendo cuidado de ir sobreponiéndolas de tal manera que las imágenes o detalles comunes en el área de sobreposición de dos fotografías - consecutivas concuerden en su forma; asimismo entre dos líneas adyacentes en donde rige también un determinado porcentaje de recubrimiento. Ahora bien; para facilidad de operación en el pegado de las fotos en el tablero, se puede ir entresacando las fotografías intermedias - de cada línea, si es que la sobreposición es la usual para la restitución (elaboración de planos a través de las fotografías), pues basta para que haya continuidad en el mosaico, la sobreposición que queda entre la primera y la tercera, entre ésta y la quinta, etc. fotografías; -- salvo cuando las coberturas de los vuelos fotogramétricos son para otros fines en que las fotografías de las líneas del mosaico estarán en el orden en que fueron tomadas.

Fig. 2 y 3 Esquemas de los tableros que se mencionan en el párrafo anterior.

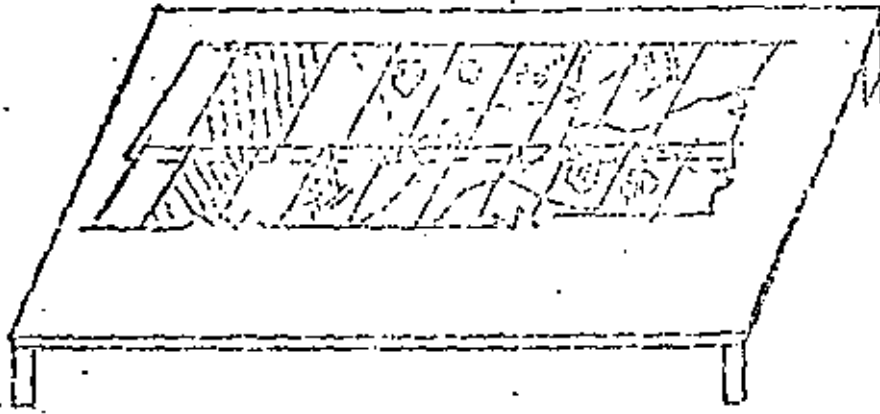


Fig. No. 2 Tablero Horizontal

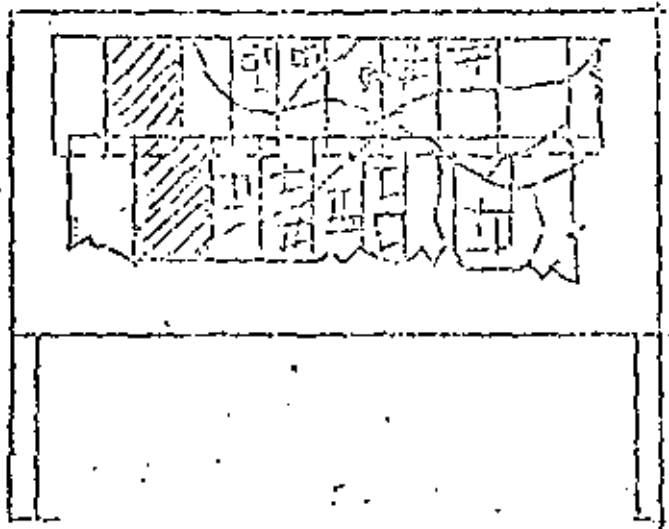


Fig. No. 3 Tablero Vertical

Siendo que las fotografías se colocan en sus tamaños reales en los tableros, cuando la zona levantada es extensa, no es posible integrar el mosaico en un sólo tablero; por lo que se puede hacer en secciones, ya sea empleando otros tableros o descargando sucesivamente el mismo. Cada sección de mosaico debe hacerse con una pequeña sobreposición para poder relacionarlas entre sí, cuando se quiera armar el conjunto fotografiado.

Un mosaico puede confeccionarse con fotografías de tamaño reducido también, pero el proceso de reducción implica algún costo; por lo que para comodidad de manejo de un fotoíndice, del tendido original se hacen reproducciones fotográficas a escalas pequeñas adecuadas; estas reproducciones se logran con el empleo de cámaras fotográficas especiales llamadas "Cámaras reproductoras", cuyas formatos son hasta de 70 cms. por 90 cms., o más y para el enfoque se desplazan sobre rieles hasta de 10 m. de longitud. Véase la fig. 6.4

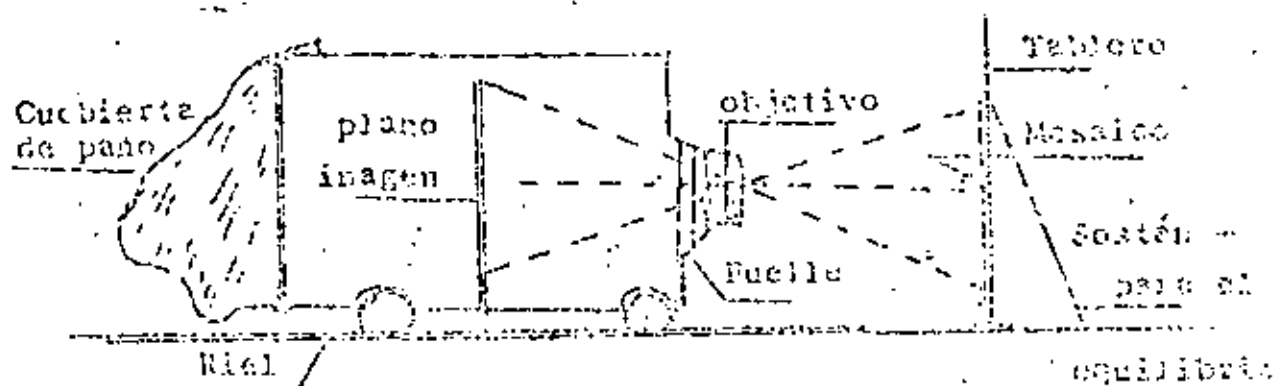


Fig. 6.4 Posición de una cámara fotográfica reproductora.

6.3 Utilidad de un fotoíndice.

Los mosaicos fotoíndices son sumamente útiles, en virtud de que en ellos se tiene a primera vista, toda la información relacionada con los elementos existentes en el área de terreno fotografiado; tales como: poblaciones y rancherías, vías de comunicación, obras de riego, áreas de cultivo, aspectos orográficos e hidrogáficos, densidad forestal, etc. -- Además se utilizan con ventaja para marcar en ellos los sitios de trabajo, los itinerarios, -- los avances y cualquier señalamiento de programas de trabajo que se tenga que llevar a cabo en la zona levantada. Veáanse la figura 6.5 con marcas e itinerarios de trabajo señalados.

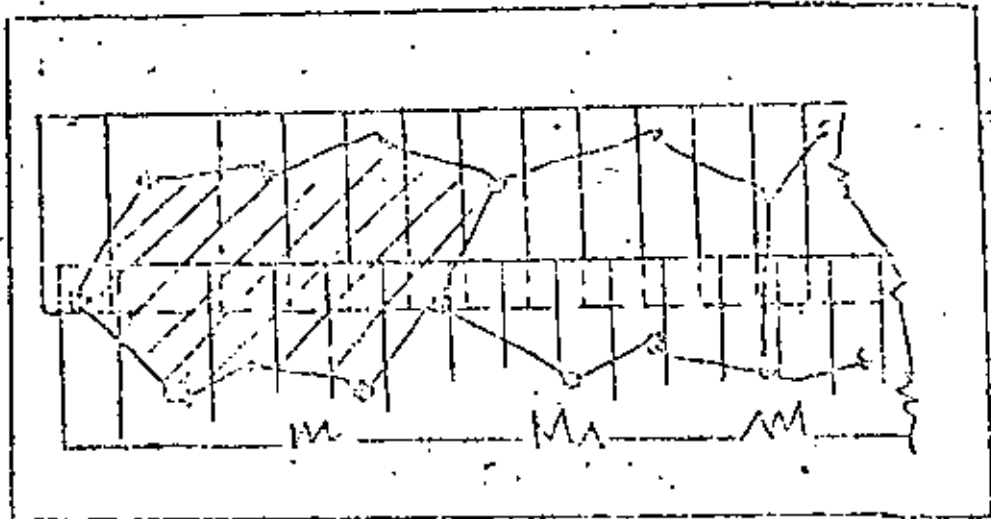


fig. 5 Fotoíndice conteniendo zona de trabajo proyectado y el avance alcanzado (Rayado)

6.4 Mosaico rectificado.

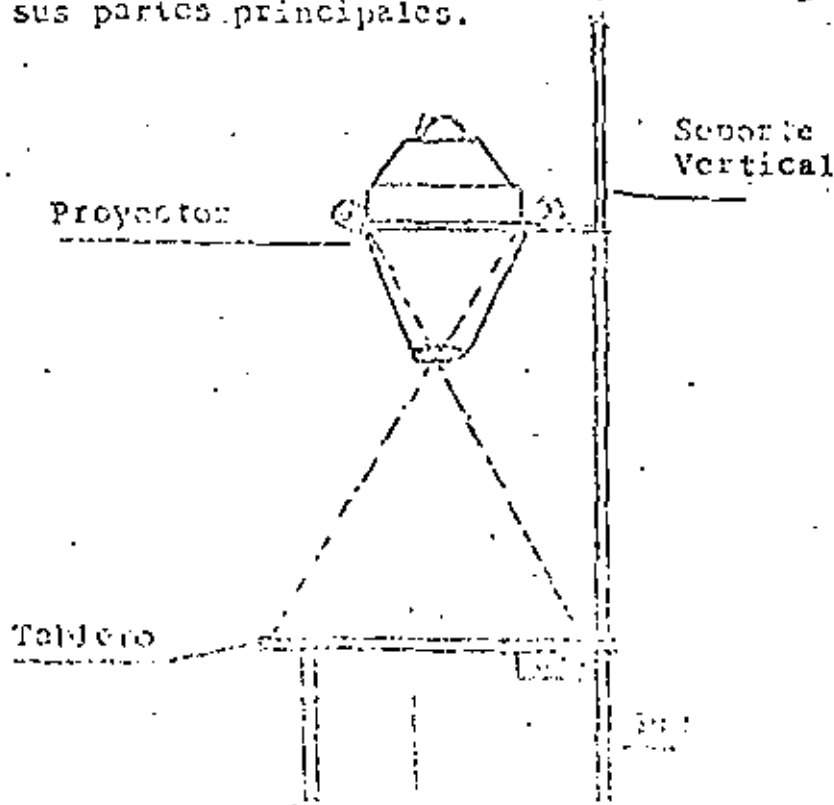
Se puede definir un mosaico rectificado como el conjunto de fotografías ensambladas cuidadosamente, pero rectificadas; con lo cual todo el contenido planimétrico del mosaico quedará a escala determinada.

La rectificación consiste en el logro de las condiciones fotográficas apropiadas, -- para poder obtener de las fotografías datos reales y precisos.

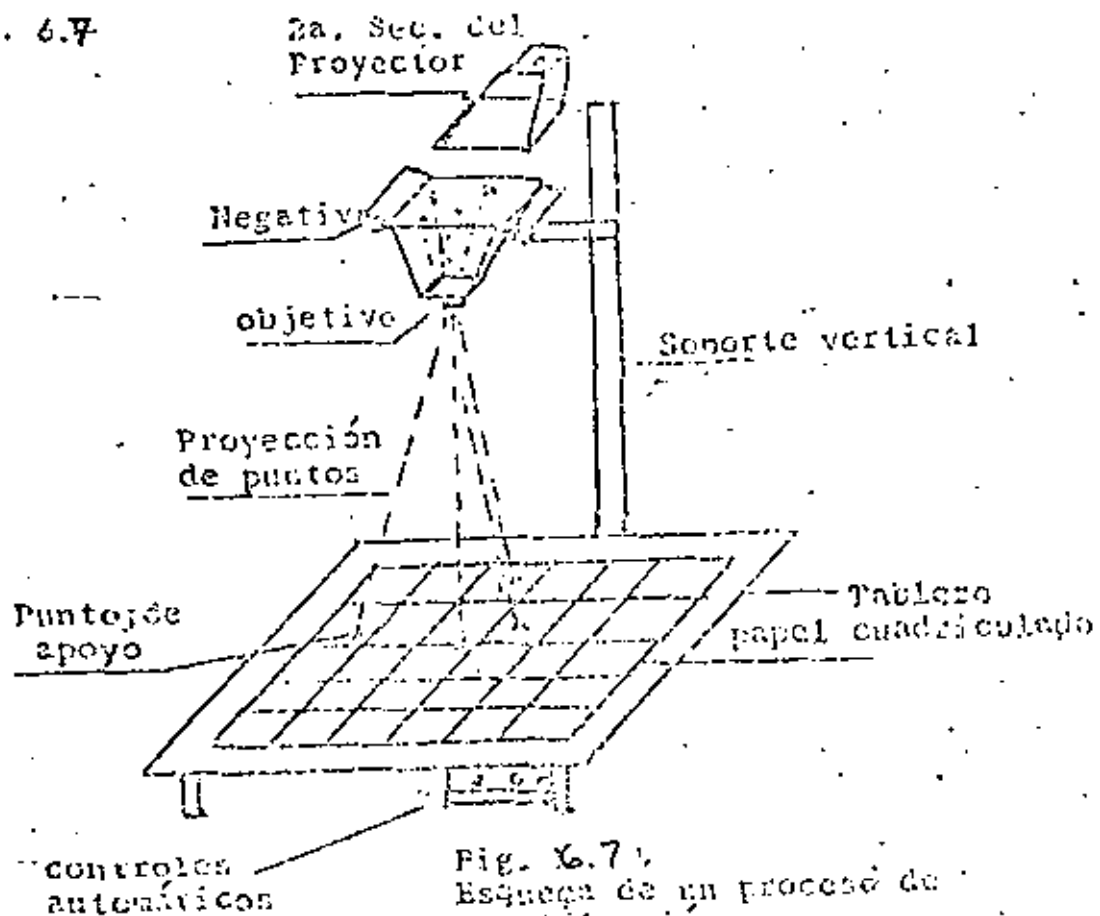
El proceso de rectificación se desarrolla como sigue: a partir de puntos de posición conocida, que pueden ser puntos de apoyo terrestre si han sido medidos por mediciones topográficas directas o puntos de control fotogramétrico si han sido determinados por triangulación Radial o por Aerotriangulación, etc., puestos a escalas en una hoja cuadrículada y señalados esos mismos puntos en las negativas de las fotografías correspondientes; y con el empleo de un aparato fotogramétrico denominado rectificador de imágenes, se llega a la rectificación buscada, haciendo que las imágenes fotográficas proyectadas por el rectificador, crezcan o disminuyan, según el caso, hasta una distancia igual a la dada por los puntos situados en la cuadrícula a escala a la que va a confeccionar el mosaico específicamente.

Un rectificador de imágenes se compone de tres partes esenciales: un soporte vertical, una cámara fotográfica que se desplaza sobre el soporte anterior y un tablero en la parte inferior del mismo eje vertical; dicho tablero además del desplazamiento vertical, puede inclinarse en varios sentidos y girar alrededor de su eje vertical. Véase la fig. 6.6

fig. 6.6 Esquema de un rectificador de imágenes fotográficas con sus partes principales.



Ahora bien: sobre el tablero se coloca el papel cuadrículado con los puntos ba se dibujados; a continuación se hace pasar por el proyector de la cámara, la negativa de - la fotografía que contiene los mismos puntos dibujados abajo; se proyecta la imagen, se im- primen tanto al proyector como al tablero, todos los movimientos necesarios hasta lograr la fusión de los puntos dibujados con sus imágenes correspondientes; finalmente se coloca el pa- pel fotográfico sobre el mismo tablero y se toma la fotografía correspondiente, amplificada y rectificada o enderezada, para ser usada en la confección del mosaico rectificado. Véase - la fig. 6.7



Para mayor facilidad de trabajo en la elaboración de un mosaico, de la proyec- ción fotográfica rectificada de cada fotografía, se dibujan en la hoja cuadrículada todos los detalles sobresalientes como caminos, ríos, arroyos y otros que a juicio de los operadores -- puedan servir posteri -- mente de control para el pegado de las fotografías del mosaico. Véase - se la fig. 6.8)

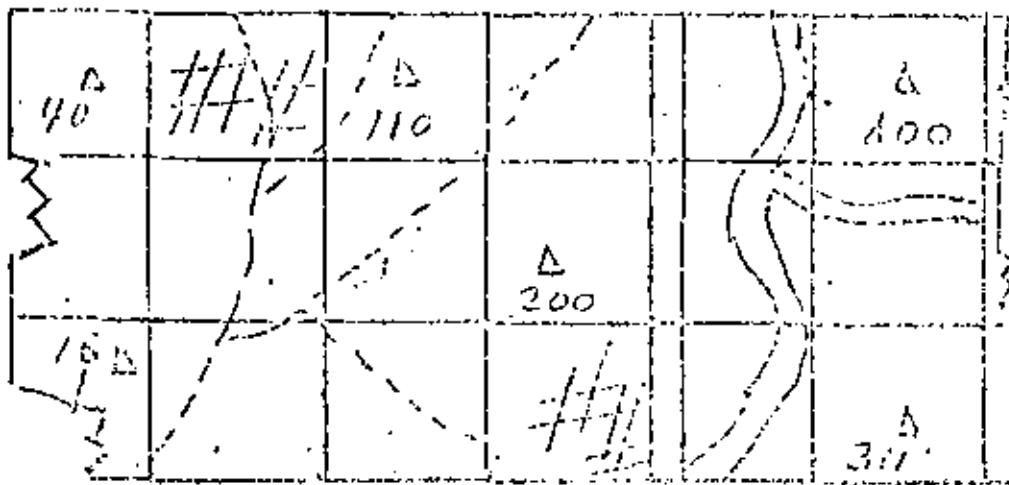


Fig. 6.8

6.5 Elaboración de un mosaico rectificado.

Normalmente los mosaicos rectificados se hacen sobre cubiertas resistentes a las deformaciones; por lo que, en un tablero a propósito, se calcan al carbón todos los elementos contenidos en la hoja cuadrículada, incluyendo la cuadrícula si es necesario. A continuación se procede al pegado de las fotografías rectificadas procurando ir ensamblando cada punto y cada detalle fotográfico con su homólogo dibujado en el tablero. La unión entre fotografías sucesivas se hace mediante recortes a lo largo de las orillas de caminos, ríos, líneas de sombra, etc.; y para evitar bordos al sobreponer las fotografías, se desvance el espesor del papel fotográfico por la parte de atrás y a todo lo largo del recorte. Por ejemplo, en la figura 6.11 se ve que el arroyo va a servir de liga entre las fotos I y II por lo que antes de pegarlas se hacen los recortes y el desvanecido correspondiente. Esta forma de ensamblar las fotografías sucesivas, da la impresión de ver los mosaicos rectificados como si se tratara de una sola fotografía.

SENSORES REMOTOS

7.1 Introducción.

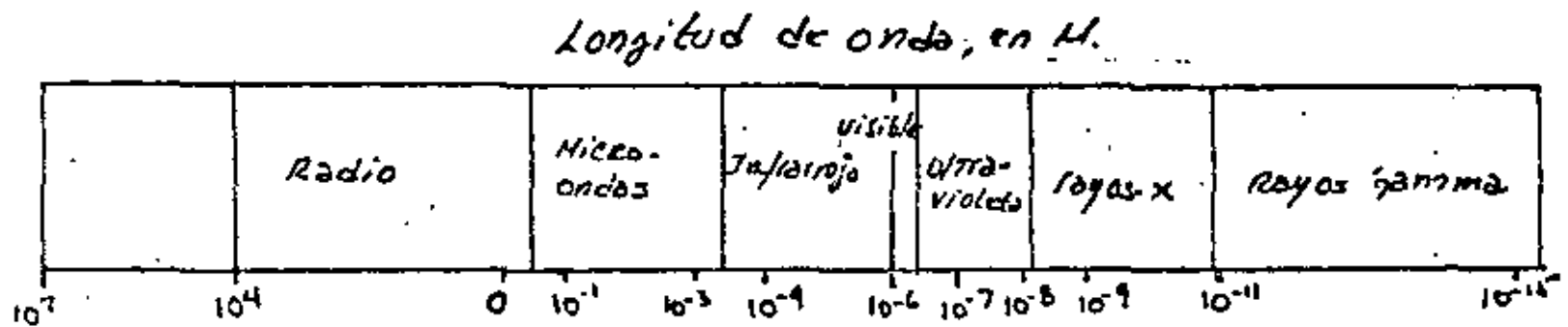
Se considera como percepción remota toda observación o medida de cierto objeto, hecha sin tener contacto directo con este; generalmente se hace desde aviones o plataformas espaciales, las cuales emplean una gran variedad de instrumentos que captan diferentes zonas del espectro electromagnético. En la fig. 21, se presenta el espectro electromagnético y -- aquellas porciones comunmente asociadas con estudios hidrológicos utilizando percepción remota .

Los instrumentos más comunmente usados para grabar la reflectancia (en forma de energía) son las cámaras fotográficas. La película Panchromatic es la que se utiliza para absorber la energía en el espectro visible, la película de color es sensitiva a radiaciones en el rojo, azul y verde, y la película en color infrarrojo tiene sensibilidad en el verde, rojo y el infrarrojo cercano.

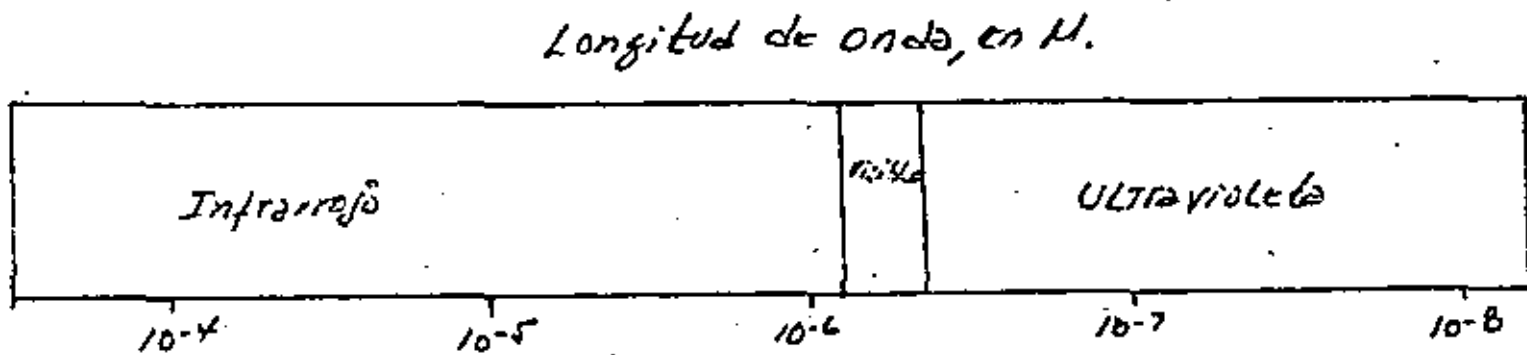
7.2 Desarrollos recientes en la colección de información.

Los desarrollos para obtener información sobre recursos naturales desde plataformas, comenzaron en 1960 con el lanzamiento del satélite de tiempo (weather satellite), y ha progresado hasta los satélites no tripulados LANDSAT I y II (antes ERTS) y la misión espacial -- SKYLAB.

Los satélites LANDSAT y SKYLAB, actualmente en órbita alrededor de la tierra, -- son parte principal de un programa de toma de información de los recursos naturales desde el



7.1(a)



7.1(b)

Fig 7.1 (a) Espectro electromagnético; (b) la porción del espectro utilizada comúnmente en hidrología.

espacio exterior.

La serie denominada LANDSAT, originalmente denominada ERST, consta de 4 satélites, el primero lanzado el 23 de julio de 1972, el segundo en enero de 1975, el tercero - programa para 1977, el cual no ha sido puesto en órbita), y el cuarto para 1980. Los satélites tienen la particularidad de que toman la información automáticamente, misma que se graba en cinta magnética y se envía a Tierra por microondas en el momento de recibir una señal de las estaciones rastreadoras especialmente instaladas para el efecto. Las estaciones existentes actualmente son las de Goldstone, en California (E.U), las de Alaska, y la del Centro - Goddard de la N.A.S.A. (National Aeronautic and Space Administratio) situado en las cercanías de Washington, D.C. Los gobiernos de Canadá, Brasil, Irón, Italia y Zaire han instalado también estaciones receptoras en sus territorios.

El Skylab es un satélite tripulado, equipado también con instrumental captador de información, que tiene asignado una variedad de experimentos. Dentro del programa Skylab se tomaban fotografías de lugares escogidos de antemano y con objetivos definidos. Cada tripulación del Skylab retornaba a tierra portando el material consigo. La información era procesada en los centros que al efecto tiene la N.A.S.A., y de ahí es distribuida a los usuarios, instituciones e investigadores de diversos lugares del mundo.

7.3 Órbitas y Magnitud de los Satélites.

El satélite LANDSAT, tiene un peso total de 953 kg y sus dimensiones son 3.04 m de altura y 1.52 m de diámetro, algunos detalles de forma e instrumental pueden apreciarse - en la Fig.2.2. Su órbita fué programada para que fuese casi circular, con una excentricidad de 0.0006 y a 900 km de altura. La órbita es polar y circunda la tierra en 103 minutos, her-

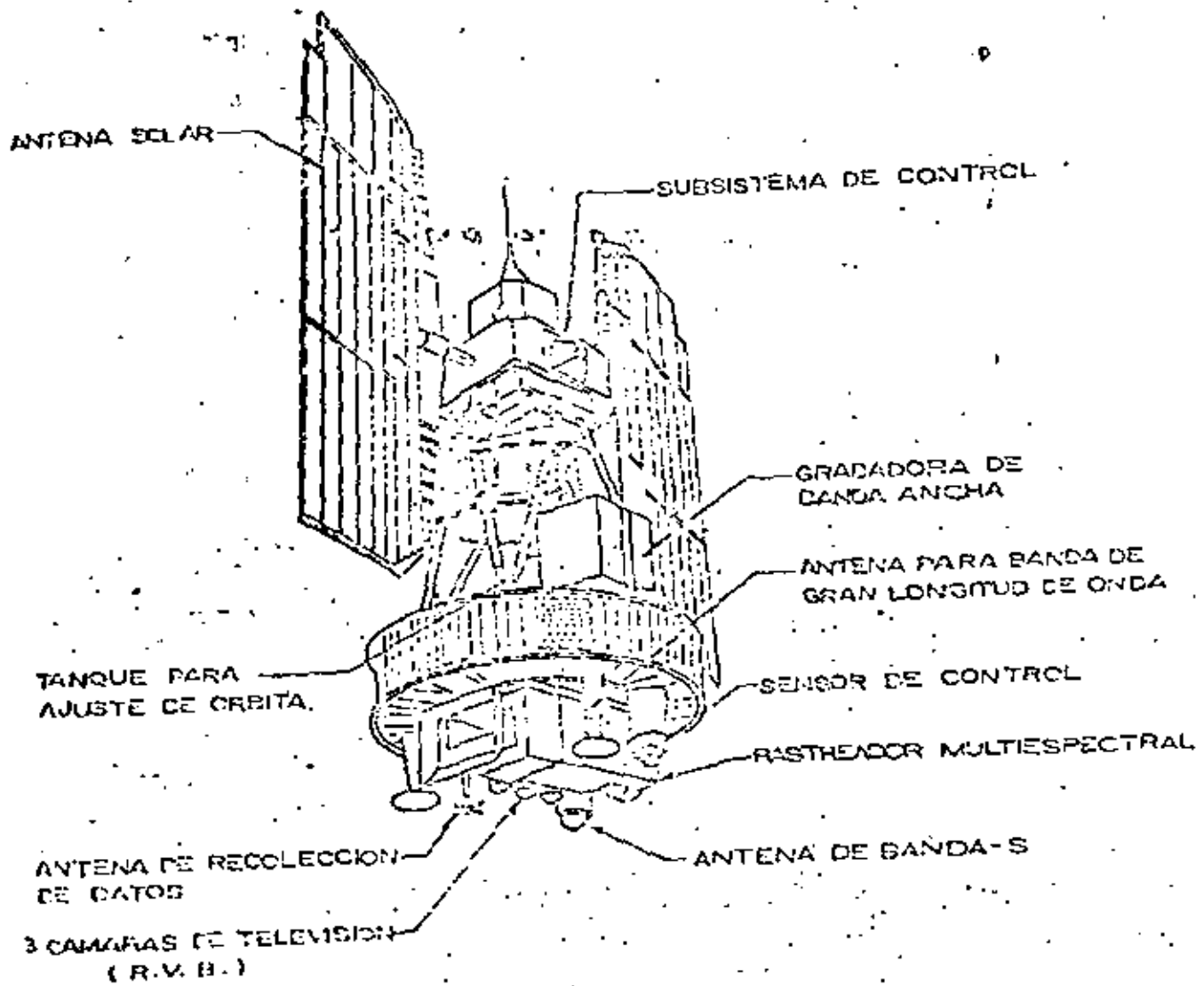


Fig 7.2 Satélite LANDSAT

ciendo 14 órbitas por día. En 18 días de 251 revoluciones que le permiten repetir un cubrimiento de imágenes sin incurrir en más de 30 km de error. Las revoluciones se completan en 18 días dado que las órbitas son sincrónicas con el Sol, de forma que cada cruce del satélite sobre el ecuador terrestre ocurre a los 9.42 a.m., a una distancia uno del otro de 159.38 km lo que significa que en esa latitud el traslape lateral es de 14%, y se hace mayor de acuerdo con el aumento de latitud hasta llegar a ser de más de 80% en los polos.

El "Satélite Skylab", cuyo nombre significa laboratorio espacial, tiene un peso de 100 toneladas, una longitud total de 35.6 metros y una anchura, incluyendo las aletas de captación de energía solar, de 27.1 metros. Su órbita se encuentra a 535 kilómetros de altura, lo que es casi la mitad de la altura a la que se encuentra el LANDSAT. El patrón de recorridos del Skylab es más complicado que el del LANDSAT, dado que su función comprende 58 experimentos de variados objetivos, por lo que no tiene la regularidad que da la sincronía solar.

7.4 Equipo de Toma de Información.

El equipo del LANDSAT 1 y 2 está formado por:

- a.- Un rastreador óptico mecánico llamado sistema MSS. (Multispectral Scanner)
- b.- Un elemento compuesto de tres cámaras de televisión conocido como sistema RBV. (Return Beam Vidicon).
- c.- Un sistema muestreador y almacenador de información.
- d.- Un equipo de control.
- e.- Un sistema de potencia.
- f.- Un transmisor.

El elemento de rastreo (MSS) es de tipo de espejo oscilante, es decir, la información es captada mediante un espejo que oscila en un ángulo de 5.78° apuntando en dirección a la superficie de la tierra; ese ángulo cubre una distancia de 185 km de ancho de la imagen, y el espejo envía la radiación que refleja hacia 6 detectores por cada banda. El hecho de que el rastreador tenga 6 detectores por banda es debido a que captan información de seis puntos simultáneamente, que al completar la oscilación del espejo se convierte en seis líneas perpendiculares a la dirección de movimiento del satélite. Estando sincronizado el movimiento del satélite con la velocidad de oscilación se tiene que en pasadas repetidas se va cubriendo toda la tira que señala sobre el terreno la órbita.

El rastreador separa la radiación reflejada sobre la superficie de la Tierra en cuatro bandas ordenadas y denominadas de acuerdo con los números 4, 5, 6 y 7 que corresponden a longitudes de onda de 500 a 600, 600 a 700, 700 a 800 y 800 a 1100 milimicras (m μ) respectivamente.

Dado que el espectro visible está comprendido entre 470-720 m μ , las dos últimas bandas contienen información de la porción infrarroja. De hecho la banda 4 corresponde a la región verde y la banda 5 a la región rojo del espectro.

Durante las órbitas diurnas del satélite la energía detectada por las cámaras de televisión y el rastreador multicanal es enviada directamente por telemetría a las estaciones receptoras en la tierra. Cuando el satélite está fuera del alcance de las estaciones receptoras, almacena la información del resto del mundo en grabadoras de videotape y en cintas magnéticas, la cual es enviada a tierra a su paso por las estaciones rastreadoras.

El Landsat C contendrá el mismo instrumental mas un detector infrarrojo que capta

rá longitude. onda de 10.40 a 12.60 micras en la parte térmica del infrarrojo medio, y el Landsat D programado para 1980 será puesto en órbita por un avión nodriza (Shuttle) y contendrá un rastreador de 7 canales, 6 en el visible y uno en el infrarrojo, con una resolución de 1/2 "Pixel"*.

El instrumental del Skylab dedicado a captación de información de recursos naturales es un sistema de 6 sensores, que comprende: Cámara Fotográfica Multiespectral (70 mm y 4 1/2"). Espectrómetro de infrarrojo, Rastreador Multiespectral, Radiómetro de microondas, Escaterómetro y Altimetro de microondas.

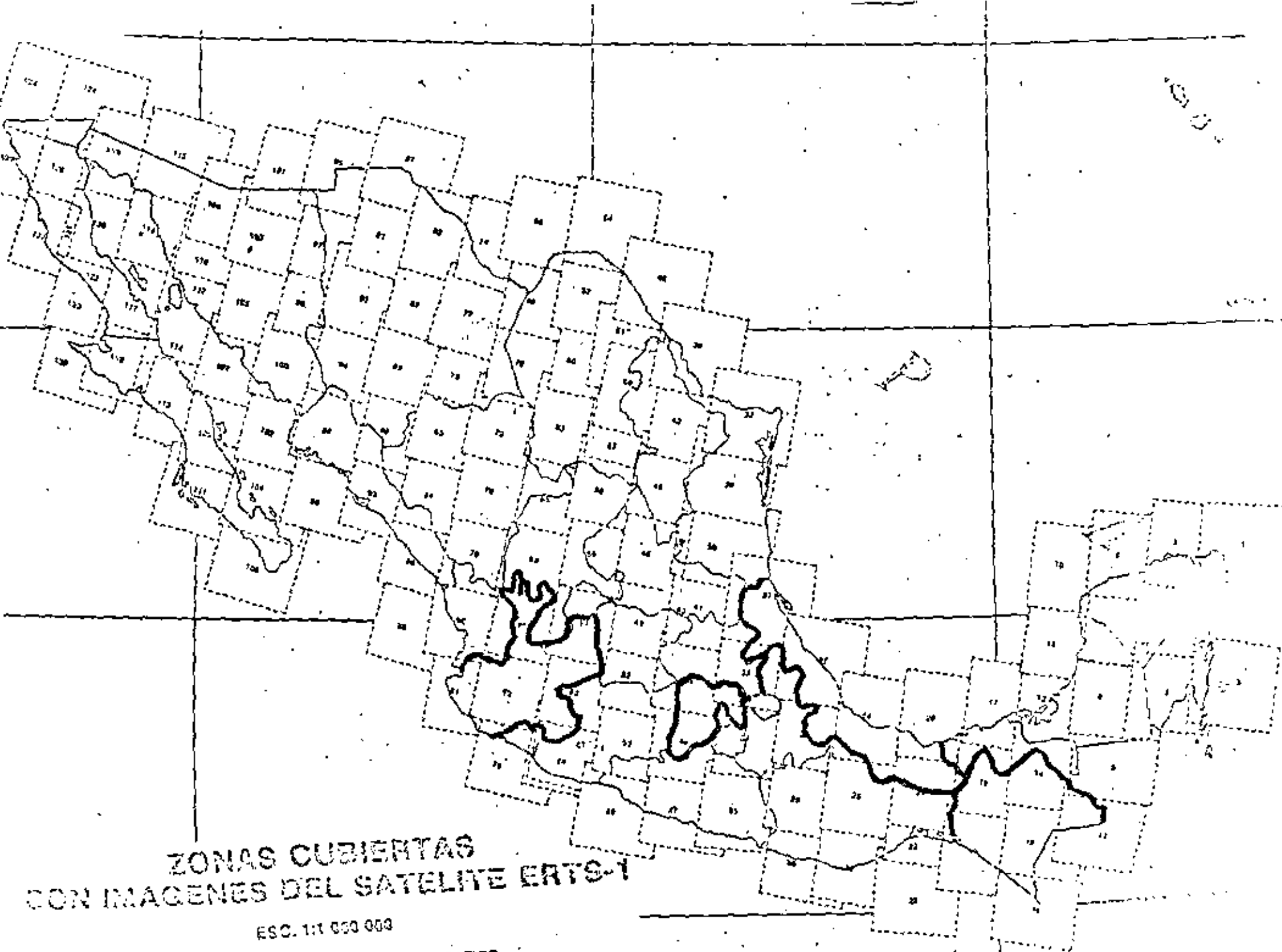
7.5 Desarrollos recientes en el análisis de información.

El análisis de la información obtenida a partir de sensores remotos no está restringida exclusivamente a la interpretación visual. La facilidad de combinar las fotografías con los avances que se tienen en computadoras, ha sido la clave del progreso en el procesamiento automático de la información por medios computacionales, se basa en que las fotografías pueden ser representadas como una serie de números, es por lo que una imagen enviada por un satélite se considera compuesta por una gran cantidad de pequeñas áreas unitarias de reflectancia (Brillante) constante.

Dentro de los estudios de calidad del agua, y uso actual del suelo, se ha visto que el trabajar con este tipo de técnicas es de gran utilidad, ya que de esta manera se pueden hacer pruebas estadísticas entre las características propias de las imágenes y aquellos datos obtenidos durante las verificaciones terrestres.

En el campo de los aprovechamientos hidráulicos, el uso de fotografías no es n:

* La menor unidad de medición obtenida en las imágenes, la cual corresponde aproximadamente a media hectárea.



**ZONAS CUBIERTAS
CON IMAGENES DEL SATELITE ERTS-1**

ESC. 1:1 000 000

PARA SOLICITAR ESTE MATERIAL FOTOGRAFICO
UTILICE LA CLAVE CORRESPONDIENTE
APARECE DENTRO DE LOS CUADRANTES.

TIPO DE USO DEL SUELO	CARACTERISTICAS DE LAS IMAGENES DEL ERTS-1 OBSERVADAS EN LAS TRANSPARENCIAS DE INFRARROJO A COLOR						
	FORMA	TAMANO	COLOR EN LA TEMPORADA DE SECAS	COLOR EN LA TEMPORADA HUMEDA	TEXTURA	PATRON	LOCALIZACION Y ASOCIACIONES
Agricultura de Riego	Regular	Variable	Naranja, café, rojo escarlata,	Naranja, rojizo rosado.	Suave	Polígonos con cuadrados di- ferentes ton-	Valles, laderas Planicies coste- ras tierras bajas
Agricultura de Temporal	Regular	Variable	Verdoso, café claro, gris - rosado.	Anaranjado - café claro, verde.	Suave-Mediano	No uniforme cuadrados dis- persos.	Valles altos, Mesetas.
Agricultura Nómada	Regular	Variable	verdoso, café claro gris - rosado	café claro, naranja cla- ro, verde	Suave-Mediano	No uniforme cuadrados dis- persos.	faldas con fuer- tes pendientes.
Bosques de Coníferas	Irregular	Variable	café oscuro rojo - ladrillo	café oscuro rojo ladrillo	Medio aspera- aspera	Irregular	Zonas altas, me- setas, sierras.
Selva Tropical	Irregular	Variable	rojo - ladrillo rojo - brillante	rojo - ladrillo rojo - brillante	Suave Medio - Suave	Irregular	Zonas altas, y ba- jas con fuertes lluvias y sequías.
Chaparral	Irregular	Variable	café claro, naranja ca- fé verdoso, amarillo - rosa.	café claro, naranja ca- fé verdoso, amarillo - rosa.	Suave - Medio	Irregular	Laderas
Vegetación Desértica	Irregular	Variable	amarillo - gris, café claro, blanco, negro*	amarillo - gris, café claro, rosado	Suave - Medio Aspera	Irregular	Zonas áridas
Pantanos	Irregular	Variable	amarillo, gris blanco	rosado, naranja, amari- llo, café claro.	Suave	Irregular	Laderas y Valles
Zonas Pantanosas	Irregular	Variable	naranja, rojo oscuro	naranja, rojo, oscuro	Suave a Mediano	Irregular	Cuerpos de Agua- Costas.
Pantanal de altura	Irregular	Variable	gris, amarillo	gris, amarillo, café cla- ro.	Suave	Irregular	4 000 m.s.n.m. ó más
Playas y dunas	Irregular	Variable	Bianco, amarillo	Amarillo, blanco, café	Suave	Irregular	Áreas costeras y desiertos.
Zonas desprovistas de vegetación	Irregular	Variable	Bianco, amarillo café claro	Bianco, amarillo café claro	Medio Aspera	Irregular	en cualquier parte
Zonas urbanas e indus- triales	Irregular	Variable	gris, blanco azul plo- mo	Bianco, gris azul plomo	Mediano	Irregular	Tierras planas cru- ces de caminos
Cuerpos de Agua	Irregular	Variable	azul claro, azul mar- ino, negro	azul claro, azul marino, negro.	Suave	Irregular	en cualquier parte

* Relacionado con el color del suelo y no con la vegetación.





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



UTILIZACION DE LOS SENSORES REMOTOS EN LA PLANEACION DE
LOS RECURSOS HIDRAULICOS

FOTOGRAMETRIA. Cont.

ING. ALEJANDRO GUZMAN
MARZO DE 1979



vadas durante la fotointerpretación y las formas del relieve, lo cual ayuda a tener una idea bastante precisa de la escala de los fenómenos que se están observando.

Durante la fotointerpretación, es conveniente indicar - aquellos sitios que por la caracterización del problema que se está resolviendo, es necesario tomar datos directamente en el campo, pero como el acto de la fotointerpretación implica una visión de conjunto o sea de síntesis de carácter informativo y puesto que el trabajo de campo tiene que hacerse muchas veces bajo condiciones diversas de acceso y clima, el hecho de escoger los puntos en los cuales se pueden obtener los datos suficientes para el objeto del estudio, reduce de un modo notable la estancia en el campo y optimiza la calidad de la información para elaborar finalmente ya sea un mapa final o para plantear las actividades posteriores, de acuerdo con el objetivo de la fotointerpretación.

La secuencia para efectuar un trabajo de verificación incluye varios aspectos.

1.- Compilar la información existente ya sea desde el punto de vista bibliográfico en relación con el objeto de la interpretación.

2.- Elaboración de un programa preliminar de verificación

señalando en el mapa por verificar, caminos de acceso y lugares inmediatos en donde obtener la información en el campo, - la posibilidad de instalar algún campamento y el número aproximado de días de distancia en el campo.

3.- Una vez que se llega al área objeto del estudio, se procede a realizar un recorrido preliminar con el objeto de familiarizarse con el área y conocer las características de las vías de acceso.

4.- La actividad de realizarse enseguida, en la verificación de la información contenida en las fotografías, mediante la ubicación correcta del lugar en las fotografías. Este procedimiento es muy importante pero a veces es difícil, sobre todo cuando el área es sumamente accidentada, existe una gran cantidad de vegetación, o es muy plana y no existen elementos de referencia. Para poderse situar correctamente en las fotografías, se puede adoptar el procedimiento consistente en ir identificando accidentes del terreno, siguiendo los contornos de un camino, tratando de encontrar curvas o cruces con ríos y a partir de esos puntos poder reconocer las elevaciones más características, estableciendo de esta manera grandes puntos. Cuando no es posible identificar a las grandes elevaciones, podrán ubicarse algunos elementos tales

como casas, alguna obra minera o cualquier accidente que aparezca claramente en las fotografías. En regiones sumamente pobladas de vegetación, la ubicación correcta es muy difícil por la imposibilidad de observar el relieve arriba de la vegetación, o bien porque las zonas vegetales y las que han sido destruidas para sembrar y que aparecen claramente discernibles en las fotografías, cambia estacionalmente. Para el efecto de la ubicación sera necesario adoptar otro procedimiento como es el de que a partir del punto en que se encuentra el observador, poder identificar alguna vuelta de un río, algún camino que aparezca mas o menos claro o algún poblado o conjunto de casas aisladas, y desde ahí con la brújula, trazar radiaciones convergentes al punto que se quiera identificar. En una región muy plana en la cual es necesario ubicarse, la manera de realizar esta actividad, es mediante la identificación de alguna vía de comunicación importante - alguna identificación o bien alguna prominencia topográfica notable, y siguiendo un procedimiento similar al que se utiliza para la orientación de una plancheta, se orienta aproximadamente la fotografía con los rasgos antes mencionados, y desde ahí se pueden trazar líneas convergentes que nos darán una posición aproximada del lugar en donde se esta haciendo-

la observación.

En cada sitio en donde se realiza alguna observación deben recolectarse los datos necesarios de acuerdo con el propósito de verificación, haciendo la descripción de los elementos que interesen, y colectando muestras las cuales aparecerán consignadas en la parte posterior de la fotografía con un número que las identifique.

Con toda la información colectada en el campo, se procede a realizar una reinterpretación de las fotografías aéreas para elaborar el mapa final y elaborar si es necesario un informe en el cual se consignen todas las observaciones y datos obtenidos durante la verificación.

VII ALGUNAS APLICACIONES DE LA FOTOINTERPRETACION.

Como ya se ha definido que la fotointerpretación puede considerarse como el acto de observar las imágenes fotográficas de los objetos o rasgos del relieve y deducir su significado, es por esto que de acuerdo con algun objetivo específico se puede aplicar al método de la fotointerpretación a una gran diversidad de actividades, entre las mas comunes estan el objetivo geológico, geohidrológico, el edafológico y el relacionado con los problemas de la ingeniería. A continua--

ción se expondrá de una manera breve las características que adquieren el método de la fotointerpretación para cada uno de los objetivos antes señalados.

G E O L O G I A

La interpretación de las fotografías aéreas desde el punto de vista geológico, puede considerarse como la base fundamental para cualquier otro tipo de estudio, como sería el hidrológico, edafológico y de la ingeniería.

En términos generales puede considerarse que la interpretación fotogeológica se reduce a comprender el cuadro geomorfológico, ya que este es el producto de la acción combinada del intemperismo, la erosión y el neotectonismo sobre los rasgos geológicos producidos por la actividad ígnea, los esfuerzos de la deformación y el metamorfismo.

Se considera que en la superficie terrestre afloran tres tipos de rocas que son las rocas ígneas, las sedimentarias y las metamórficas. Cada una de estas rocas aún cuando tienen orígenes distintos, su expresión en la superficie terrestre es distinta porque existen diferentes formas de presentarse, y como ya se mencionó anteriormente están sujetas a los fenómenos de la denudación.

El problema entonces de la interpretación fotogeológica es el de distinguir características litológicas y estructurales para cada tipo de roca antes mencionada, para lo cual es necesario tener presente sus propiedades originales y sus transformaciones sucesivas.

- Rocas Sedimentarias.

Estas son las más fácilmente distinguibles, debido a su origen y por tanto en las fotografías aéreas mostrarán muchos rasgos originales que son los que se debe tratar de distinguir.

Calizas.

Se presentan en las fotografías aéreas mostrando la estratificación y formando plegamientos, el tono y la textura varían de acuerdo a su composición mineralógica y la influencia del clima. En un clima árido, las calizas tienden a desarrollar formas triangulares que se desarrollan a lo largo de los flancos de los plegamientos. La alternancia de las capas o estratos le da el aspecto escalonado que se observa a lo largo de los arroyos. El drenaje tiene una forma particular-compuesto de trazos rectangulares principalmente definidos por el contacto entre los estratos y el fracturamiento paralelo al echado. Otro aspecto es el que se refiere a sus ca-

racterísticas estructurales tales como el rumbo y el echado que es fácilmente observable, además en las formas anticlinales y sinclinales, las lineaciones tales como fallas y fracturas se muestran de un modo notable, ya que adquieren características de tipo regional, limitando los flancos de las estructuras dandoles un aspecto regular o bien, dentro de las mismas estructuras se muestran en forma de fallas y fracturas. Como consecuencia de la erosión a la salida de los arroyos que bajan de los plegamientos se forman abanicos aluviales y depósitos de talud.

Bajo la acción de un clima humedo o lluvioso en las calizas, suelen presentarse como rasgos dominantes fenómenos de disolución llamados dolinas cuyo conjunto le da un aspecto característico que se conocen con el nombre de paisaje carsístico, los demas rasgos antes mencionados aún cuando se presentan suelen estar bastante disimulados por la cubierta vegetal, y suelo que ayuda a enmascarar otros rasgos.

Lutitas

Estas rocas cuando se presentan en grandes extensiones tienen características notables ya que tienden a desarrollar un tono generalmente gris medio y una textura fina, dependiendo del grado de humedad, el tono puede ser muy claro cuando seca o bastante obscuro cuando esta humeda. En este tipo de

rocas la estratificación suele ser muy delgada y a veces parece estar ausente debido a los fenómenos erosivos. El drenaje que se forma en este tipo de rocas aun cuando siguen los planos de estratificación y de fractura paralela al echado, generalmente tiende a desarrollar un patron subdendrítico - caracterizado por una gran abundancia de elementos del drenaje. Suele formar plegados, los cuales a veces son vastantes-característicos y otras veces por el grado de erosión es difícil distinguirlas fallas y las fracturas, no son tan evidentes a menos de que se trate de grandes lineaciones, en función del clima. Estas lutitas muestran mejor sus características en los climas secos, en un clima húmedo tiende a formar un drenaje constituido de elementos muy alargados y formando una red típicamente dendrítica.

Areniscas

Estas rocas cuando se presentan en grandes extensiones, muchas veces suelen presentar características que las hacen confundir con rocas ígneas, sobre todo cuando no forman estructuras plegadas de pequeñas dimensiones generalmente tienen un tono obscuro y una textura gruesa, el borde de los estratos que los constituyen presentan aristas muy fuertes y tiende a formar acantilados en un clima seco. Las areniscas tienden a formar un relieve muy fuerte en el cual los estra-

tos le dan un aspecto escalonado formando grandes plataformas superpuestas cuando el echado es muy ligero, algunas veces los grandes acantilados forman bloques cuando no tienen estratificación o el echado es muy fuerte. Las lineaciones que se forman son muy abundantes y desarrollan sistemas bien definidos cuya magnitud varía de pequeña a grandes fallas y fracturas muy visibles. A la salida de los arroyos y al pie de los acantilados, se forman grandes acumulaciones de materiales arenosos producto del intemperismo y de la erosión que toma forma de abanicos o depósitos de talud.

En un clima húmedo la mayor parte de estas características suelen perderse, formandose un relieve en general de bordes suaves en el cual se desarrolla una vegetación abundante y sobre todo un drenaje constituido de largos trazos debido a la permeabilidad de la roca.

- Rocas Ígneas

Las rocas ígneas tienen características muy especiales de acuerdo con la manera en que se presentan, ya sea por medio de actividad volcánica, formando conos, derrames de lava o bien por grandes fisuras en cuyo caso se generan planicies o bien cadenas montañosas de considerable longitud. Las rocas intrusivas o sea aquellas que no logran llegar a la superficie excepto por fenómenos de erosión o por tectonismo, también -

presentan características en función con su tamaño o forma y extensión. Las rocas ígneas intrusivas tienen rasgos originales típicos tales como superficies arredondadas o zonas de acumulación de los materiales desintegrados, en los arroyos se observa secciones transversales en forma de "V" y en los cauces, generalmente llevan una gran cantidad de materiales dentríticos.

En una región de clima húmedo estas intrusiones tienden a desarrollar suelos y dan origen a la vegetación muy abundante la cual enmascara algunos rasgos de tipo erosional y de tipo estructural. Los cuerpos intrusivos de forma tabular ya sea concordante y discordante, se manifiestan como rasgos lineales abundantes y con un patrón de distribución, cuando se trata de diques cuando son mantos, estos presentan generalmente un tono más oscuro que el resto de las rocas, y que generalmente son sedimentarias.

- Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas no tienen una expresión definida que permita poder ser identificadas en las características antes mencionadas, relativas a las rocas ígneas o sedimentarias. Estos caracteres suelen presentarse de una manera inopinada, de ahí que es necesario ser muy cauteloso en cuanto-

a su interpretación puesto que no presentan rasgos que puedan ayudar a establecer diferencias litológicas y estructurales - ya que algunas veces han sufrido deformación durante varios episodios lo cual y esto no permite obtener rasgos de las estructuras originales. Otras veces el grado de metamorfismo es tan avanzado que no es posible decir con certeza cuando se trata de rocas ígneas o metamórficas. Esta situación suele presentarse en la periferia de las grandes intrusiones rodeando a las rocas graníticas de una franja de rocas, metamorfismo regional, pero que participan de las características de las rocas sedimentarias y de las rocas ígneas.

Morfología

Los rasgos morfológicos mas importantes que pueden distinguirse en las fotografías aéreas y que pueden ofrecer información necesaria para un tipo de trabajo determinado, son las terrazas que se forman a lo largo de los ríos. que pueden ser de tipo destruccional cuando las terrazas estan siendo destruidas como consecuencia de movimientos tectónicos recientes que han alterado el nivel base de erosión.

Otras terrazas que se pueden distinguir son aquellas que se forman en superficies agrandadas, correspondientes a lagos antiguos y que actualmente estan siendo transformados por la -

implantación de una red de drenaje.

Las formas acumulativas tales como abanicos aluviales y depósitos de talud son fácilmente distinguibles en las fotografías aéreas debido a su morfología propia y posición topográfica.

Otro aspecto son las superficies antiguas de erosión, las cuales suelen ocupar posiciones topográficas muy altas con respecto al nivel base actual y que son la consecuencia de haberse interrumpido el ciclo de erosión como consecuencia de fenómenos eperogénicos.

G E O H I D R O L O G I A

En cualquier problema de tipo geohidrológico en el cual es necesario considerar el regionalismo, la fotografía aérea es el medio apropiado para realizar observaciones conducentes a determinar las propiedades geológicas de las rocas. Estas fotografías es conveniente que sean a una escala adecuada, la cual puede ser del orden de 1:20 000 o 1:25 000, sin embargo algunas veces suelen utilizarse escalas como 1:50 000 o bien escalas de 1:10,000.

La escala mas apropiada es aquella que incluya área objeto de estudio y la magnitud de los rasgos geomorfológicos conteni

dos en el paisaje teniendo siempre en mente la relación de áreas de captación o cuencas.

Tipo de película

Generalmente se cree que en la solución de los problemas geohidrológicos es fundamental utilizar un tipo de película-fotográfica especial, esto parece tener relación con la creencia de que el agua en el subsuelo puede ser detectada con una fotografía apropiada. Para el caso se han utilizado desde las películas pancromáticas hasta las infrarojas, pasando por los sensores remotos. Parece que se ha olvidado el problema fundamental que es el de encontrar los receptáculos naturales apropiados, que con otros datos como es la precipitación y la evaporación pueden ofrecer soluciones viables al problema. A continuación se mencionará algunas características de las películas y métodos antes enunciados, con el objeto de definir lo mejor posible la conveniencia de su uso.

Las películas pancromáticas normales tienen la característica de registrar en diversos tonos de gris los colores de las rocas y de los objetos del relieve. Por tal motivo es fácil establecer una relación de casualidad entre la forma y el tono que aparece en las fotografías, con los objetos reales del paisaje, así como también poder diferenciar todas aquellas situaciones en las cuales la presencia del agua

pueda ser relacionada de un modo natural con fenómenos tales como vegetación, escurrimiento superficial o sencillamente - cuerpos de agua estancadas.

Quando se utilizan películas infrarojas se presenta una serie de fenómenos que es difícil poder establecer su relación con la presencia de agua. En virtud de que la película registra diferencias de temperatura que muchas veces pueden coincidir con distintos fenómenos tales como terrenos recién roturados, que muestran un cierto grado de humedad por haber sido removida la capa del suelo sin que esto pueda significar la pronta presencia del agua. Otras pueden coincidir con la parte inferior de una zona arbolada que guarda cierto grado de humedad, superior a la ambiental, siendo retenida en la zona exterior la misma tonalidad de gris.

Otras ocasiones los arroyos al seguir su curso por alguna circunstancia pueden tener ciertas desviaciones que provocan una humedad adicional a la que llevan en su cauce, este también podría distraer el verdadero objetivo del estudio o sea buscar las estructuras más favorables para contener agua.

Películas en colores

Estas son útiles en interpretaciones fotogeológicas, su mayor ventaja radica en que facilita de un modo notable la interpretación, pero siempre y cuando la escala que se utili

za sea del orden de 1:10 000 o mayor de otro modo el velo atmosférico actúa de tal suerte que las imágenes presentan poca definición y variedad de colores, apareciendo con un tono dominante como el ocre o verde azul.

Actualmente se están tratando de utilizar los sistemas de sensores remotos para la localización de grandes cuerpos de agua para lo cual utilizando radiaciones electromagnéticas de manera que realcen los cuerpos de agua, y se han hecho mediciones directas o bien si se cuenta con una serie de información disponible y muy completa.

Metodología.

Una vez que se obtienen los materiales fotográficos adecuados se procede a desarrollar una secuencia que se inicia con la disposición del material que se va a utilizar, es decir contar con un fotoíndice en el cual se señalen las fotografías y sus relaciones especiales, conviene tener un mapa topográfico y todos los materiales tales como estereoscopio, lápices de colores etc.

- Es preciso hacer una serie de investigaciones previas tales como tipo de clima, cantidad de precipitación grado de evaporación y por ciento de escurrimiento.

- La siguiente etapa la constituye el análisis de las -

fotografías con el objeto de poder diferenciar todos aquellos rasgos que puedan tener relación con el fenómeno de la acumulación del agua del subsuelo. En esta etapa se tratará de diferenciar lo mejor posible el tipo de litología, rasgos estructurales tales como fallas, fracturas, estructuras plegadas como anticlinales, sinclinales, cuerpos intrusivos, aparatos volcánicos y corrientes de lava. También es importante la diferenciación de formas acumulativas tales como abanicos aluviales, depósitos deltaicos, y diversos tipos de aluviones, terrazas, etc cuando se trate de rocas carbonatadas es necesario tratar de limitar todos aquellos fenómenos producto de la disolución de las calizas. Otro aspecto es la identificación de cuerpos de agua tales como manantiales, lagos y sobre todo hacer un estudio minucioso del drenaje, y de los agentes geomorfológicos actuales y su morfología resultante.

Una vez que se ha completado el análisis será necesario realizar una serie de visitas al campo con el objeto de efectuar simultáneamente la verificación de la información obtenida de las fotografías, ya sea ratificando o rectificando lo que se observó y buscando aquellos indicios que nos puedan dar idea de la posible presencia de cuerpos de agua en el sub

suelo. Cuando se han obtenido todos estos datos es posible formular una serie de consideraciones, con el propósito de encontrar la solución del problema que nos hemos propuesto. Es necesario advertir que previamente la visita al campo ya se ha confeccionado un mapa fotogeológico el cual puede hacerse a partir del acoplamiento directo de las fotografías o bien trasladando la información obtenida en las fotografías a un mapa planialtimétrico, el cual tendrá una escala conveniente de manera que pueda ser útil para toda la serie de informaciones que se hagan en el campo.

Tipo de investigaciones geohidrológicas.

De acuerdo con las características del estudio geohidrológico estos se pueden agrupar en tres categorías.

- De tipo regional amplio
- Tipo regional restringido
- Tipo local
- El tipo regional amplio

Se puede corresponder a estudios en la cuenca de un río o en una gran porción del mismo, puede considerarse que abarcará una superficie del orden de los miles de kilómetros cuadrados.

- El tipo regional restringido

Se refiere a zonas de terreno que tengan superficies del



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam.



UTILIZACION DE LOS SENSORES REMOTOS EN LA PLANEACION
DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS

CARTOGRAFIA

ING. JOSE GONZALO VARGAS

MARZO, 1979



III. CARTOGRAFIA

3.1 DEFINICION Y GENERALIDADES

Cartografía es la Técnica Científica de elaborar MAPAS o CARTAS, incluyendo Geodesia, Fotogrametría, Compilación y su Reproducción.

Los mapas son una proyección reducida y simplificada sobre un plano de parte de la superficie de la tierra. Es la representación gráfica de los rasgos de la superficie terrestre o de los fenómenos que sobre ella ocurren. Un mapa es la forma más simple de presentar información o datos que varían sobre una superficie; es un modelo bidimensional sobre el cual la mente humana reconoce y comprende con claridad la información cualitativa y cuantitativa que se muestra.

En Cartografía generalmente se distinguen 2 tipos de mapas.

- Mapas Topográficos (incluyendo aquéllos producidos con fines catastrales).
- Mapas Temáticos:

Los mapas topográficos muestran los elementos naturales y artificiales que se encuentran sobre la superficie de la tierra. Estos son identificados y mostrados en posición correcta, es decir su localización en términos planimétricos y altimétricos.

Los Mapas Topográficos son entonces "Mapas de Propósito Múltiple" ya que su contenido no se limita a un solo elemento de la superficie de la tierra sino que trata dentro de las limitantes de escala dar una completa representación de todos los elementos de la superficie.

Los mapas temáticos es un grupo de mapas relativamente joven especialmente si éstos los comparamos con los mapas topográficos.

El desarrollo de la Cartografía Temática y su producción esta altamente relacionada con el desarrollo de las ciencias que producen o tratan información susceptible de representarse en forma cartográfica, tal como Geografía, Geología, Suelos y más recientemente toda clase de ciencias socioeconómicas.

Antes de ir a más detalle es conveniente definir lo que es un Mapa Temático.

Los mapas temáticos muestran información cualitativa y/o cuantitativa de elementos o conceptos específicos en relación a los detalles topográficos necesarios.

En su uso convencional, el término Mapa Temático tiende a separarse del otro gran grupo de mapas topográficos. Esta separación tiene primero que todo más valor práctico que teórico ya que desde el punto de vista teórico los Mapas Topográficos también representan información cualitativa y cuantitativa de elementos específicos, sin em-

bargo en la práctica los Mapas Topográficos tienen un significado definido (que al menos en la actualidad) pueden fácilmente separarse del otro grupo de mapas temáticos.

3.2 METODOLOGIA PARA LA ELABORACION DE MAPAS.

- Necesidades de mapas.

La cantidad y variedad en necesidades de mapas continúan aumentando a medida que la demanda impone en el desarrollo y explotación de los Recursos Naturales. Es obvio que muchos problemas pueden identificarse y muchas tareas pueden ser resueltas solamente si se dispone de mapas precisos y detallados.

- Características principales de un mapa.

Las características principales de un mapa son:

1. ESCALA

2. PROYECCION

La escala de un mapa esta en relación directa con la precisión y con el espacio que el cartógrafo requiere para representar los elementos que desee mostrar.

- Es una falta de planeación, el elaborar un mapa más preciso de lo requerido ya que el hacer el mapa a una escala mayor que la que se necesita sería una pérdida de tiempo, material y dinero.

Existe una gran variedad de escalas en uso.

La clasificación varía de acuerdo a los diferentes usuarios pero para la mayoría se agrupan las siguientes.

Pequeñas - 1:100 000 y menores

Medias - 1:100 000 - 1:25 000

Grandes - 1: 25 000 - 1: 1 000

El sistema de proyección es la relación geométrica o analítica entre las coordenadas geográficas (latitud y longitud) y las coordenadas rectangulares adoptadas en el plano de representación.

El estudio de las proyecciones, su clasificación y sus propiedades es un problema matemático complejo. No existe ningún sistema que pueda preservar absoluta uniformidad de escala en todas direcciones para todos los puntos, en otras palabras un mapa no puede representar en forma precisa absoluta la forma y tamaño de los elementos geográficos en todos los puntos del mapa.

Los diferentes sistemas de proyección pueden ser clasificados de acuerdo a sus propiedades en:

- Equidistantes

- Conformes

- Equivalentes

En las proyecciones conocidas como conformes, los ángulos se mantienen inalterados, este tipo de proyecciones es importante pa

ra los marinos, los geodestas, los militares, para personal que trabaja en misiones espaciales, etc.

Las proyecciones Equivalentes son importantes para economistas o geógrafos quienes desean mostrar los resultados estadísticos, para ellos lo más importante es mantener la condición de igualdad en área.

Se les llama proyecciones Equivalentes a aquellas que mantienen igualdad en área de los elementos que se encuentran sobre la superficie al representarlos en un plano.

Las proyecciones Equidistantes son aquellas que mantienen la condición de igualdad en distancias.

Este tipo de proyección es utilizada en la elaboración de cartas para Navegación (aérea o marítima).

Ciertas proyecciones son apropiadas para un propósito y algunas para otros, sin embargo no hay proyección que sea la mejor para cada clase de mapas. Una selección adecuada de un sistema de proyección es un aspecto muy importante ya que esto es fundamental en el inicio de cualquier proyecto cartográfico.

Existe otro método de clasificación de las proyecciones de acuerdo al método de proyección o construcción en:

- Proyecciones Cilíndricas. - La esfera es transformada sobre un cilindro que cubre la tierra.

- Proyecciones Cónicas.- En este sistema la transformación de la superficie de la tierra se hace sobre un cono que cubre la superficie terrestre.
- Proyección Azimutal.- En este caso parte de la superficie se transforma sobre un plano que toca o corta a la tierra.

Estas figuras envolventes de la superficie terrestre pueden colocarse en diferentes posiciones a fin de minimizar las distorsiones que el objetivo principal de las proyecciones.

En forma general se reconocen 3 posiciones de las figuras envolventes.

- Normal
- Transversa
- Oblicua

y estas envolventes en cualquiera de las posiciones pueden ser tangentes o secantes a la superficie terrestre.

3. FORMATO

Para producir una serie de mapas basados en cualquier sistema de proyección, el formato (tamaño) que se escoja deberá ser en forma tal que resulten hojas de tamaño manejable. Los límites de las hojas se basan a menudo en las coordenadas rectangulares del sistema de proyección usado o bien basados en meridianos y paralelos en este úl-

timo caso el tamaño de las hojas varía de acuerdo a su situación geográfica.

4. DISEÑO (Estilo)

Los mapas modernos son policromáticos, ya que esto facilita la lectura y permite mostrar mayor cantidad de detalles.

Cada mapa es explicado por su tabla de signos convencionales y tipografía. El cartógrafo debe tener una habilidad bastante buena para producir un mapa ya que el mapa debe llenar los requerimientos de pre ci sión, cantidad de detalles y además debe ser fácil de interpretar y de be causar una impresión visual agradable.

5. REQUISITOS

Los requerimientos son extremadamente variados, pero todos ellos se originan de la necesidad de información exacta relativa a la tierra sobre la cual vivimos. Es decir sus características físicas (di m e n siones, posición relativa, relieve, cuerpos de agua vegetación, etc.) y las características socioeconómicas (edificios, vías de comunicación, cultivos, densidad de población servicios, etc.), para estar en posibilidad, primero, de hacer el mejor uso de lo que existe y segundo coad yu va r en el desarrollo y uso de la tierra.

Los mapas permiten todo esto e intentan reemplazar los enfoques

empíricos de los tomadores de decisiones por estrategias lógicas de acción.

El progreso de la civilización ha aumentado y cada vez la complejidad de las necesidades de mapas es mayor.

Las necesidades actuales son variadas y en ellas podemos incluir lo siguiente.

- Requerimientos administrativos generales.
- Requerimientos para la construcción de nuevos caminos y vías de comunicación.
- Las necesidades para el aprovechamiento de los recursos hidrológicos.
- Las necesidades para el aprovechamiento de los recursos marinos.
- La necesidad para el aprovechamiento de los recursos geológicos y de prospección minera.
- Otras necesidades tales como:
 - Agricultura.
 - Urbanización.
 - Navegación Aérea.
 - Catastro.
 - Enseñanza e investigación.
 - Turismo.
 - Etc.

6. PREPARACION DE UN PROGRAMA QUE LLENE LA MAYORIA DE LAS NECESIDADES.

En vista de la variedad de las necesidades cartográficas las autoridades responsables deben adoptar un método lógico para satisfacerlas tratando de economizar recursos evitando pérdidas y duplicaciones.

Los problemas cartográficos particulares de cada país están determinados por sus características físicas, sus recursos, y la urgencia en la satisfacción de sus necesidades.

La mejor solución es escoger un conjunto de mapas topográficos que sean lo suficientemente precisos y detallados en planimetría y altimetría en forma tal que satisfaga a la mayoría de usuarios. La elaboración de tales mapas para un país completo es una operación laboriosa que requiere fondos económicos considerables.

Por otra parte mapas que interesen solamente a categorías de usuarios, limitadas, relativas a especialidades específicas, deberán prepararse por servicios técnicamente calificados para tales efectos, los cuales pueden usar los mapas topográficos básicos y limitarán sus actividades al trabajo suplementario esencial.

En el grupo de mapas topográficos se debe hacer una distinción entre los mapas básicos y los mapas derivados, los primeros son aquellos resultados de levantamientos directos de campo y los segundos son el resultado de un proceso de generalización del mapa base hecho en

gabinete.

- Secuencia de Operación.

Una vez identificadas y comprobadas las necesidades de un producto cartográfico y decidido la escala, proyección, formato y estilo del MAPA, el próximo paso es proceder a la ejecución técnica, que en la mayoría de los casos involucra las siguientes operaciones sucesivas y diferentes:

- Toma de fotografías aéreas.
- Establecimiento de la red de apoyo terrestre.
- Extensión del apoyo terrestre por procedimientos fotogramétricos.
- Restitución o compilación.
- Clasificación de campo.
- Edición e impresión.
- Distribución.

La forma en que se desarrollen las 4 primeras operaciones afecta las operaciones subsecuentes y como consecuencia la calidad y economía de los resultados.

Elección del procedimiento más económico.

Los adelantos en los equipos fotogramétricos han sido tan rápidos y efectivos que actualmente no hay requisito que no pueda cumplirse. Por lo que se concentra la atención más en la selección adecuada de metodologías que en los instrumentos teniendo en mente la producción

y la economía en la elaboración del mapa básico.

- Selección de la escala fotográfica.

La selección de la escala de las fotografías aéreas es un factor determinante en el costo de un levantamiento. Los gastos relacionados con las operaciones fotográficas, el surtido fotográfico, el establecimiento de la red de puntos de control para la restitución, su ajuste, son directamente proporcionales al número de pares estereoscópicos. Por lo que es obvio obtener el menor número de fotografías en el área por levantar fotogramétricamente.

La escala fotográfica debe ser tan pequeña como sea posible cumpliendo los requerimientos del mapa por producir, es decir no se debe perder precisión vertical y la imagen de los detalles que deben aparecer en el documento final deben ser identificables ya que de otra manera la investigación de campo sería difícil y absorbería y quizá más, la economía lograda en la obtención de fotografías a escala pequeña.

- Trabajos de Campo.

Los trabajos de campo es una de las etapas más caras en la elaboración de mapas por lo que se debe tender a reducirla al mínimo ya que este trabajo es esencial e indispensable además que requiere para su desarrollo personal altamente calificado cuya preparación requiere de mucho tiempo. La calidad de los mapas depende grandemente de los trabajos de campo (Apoyo Terrestre y Clasificación de Campo).

- Edición del Mapa.

Los originales manuscritos resultado de la restitución y clasificación de campo, se toman como base para la elaboración de los originales de impresión del mapa. La edición de un mapa es una operación difícil y costosa pues involucra técnicas especiales y requiere el servicio de diferentes especialistas de las artes gráficas.

El editar un mapa se debe tener en mente lo siguiente:

- El mapa debe ser legible, fácil de usar aunque contenga mucha información.
- Se debe tratar de preservar la calidad obtenida durante los levantamientos originales esto es, se debe preservar la máxima precisión posible al efectuar los trabajos de grabado manual.
- El estilo del mapa debe ser homogéneo e impersonal para toda la serie.
- Al imprimir un mapa en varios colores se deben registrar todas las placas perfectamente hasta 0.1 mm.

COMENTARIOS

En el ciclo de operaciones necesarias para llevar a cabo un levantamiento cartográfico no hay actividad alguna que sea menos importante que las otras, ya que todas contribuyen en el proceso, razón por la que todas estas operaciones deben ser cuidadosamente coordinadas.

De acuerdo a las necesidades por resolver y de acuerdo a los métodos adoptados es posible visualizar un plan efectivo de organización para una Institución Cartográfica. Esta deberá incluir:

- Una Unidad Administrativa.
- Una Unidad Especial para la toma de fotografías aéreas.
- Una División de Geodesia, Astronomía, Nivelación, etc.
- Una División de Fotogrametría que incluya Laboratorio Fotográfico, Areas de Aerotriangulación, Restitución, etc.
- Una División de Edición Cartográfica, responsable de todos los procesos de edición, reproducción e impresión.
- Una División Responsable de investigar la necesidad de las otras divisiones y de realizar estudios, investigaciones de nuevos métodos y equipos.
- Una División de Documentación Técnica y de Entrenamiento.

La preparación de los mapas de un país es un proceso largo que requiere de inversiones bastante fuertes, sin embargo los levantamientos cartográficos son necesarios ya que coadyuvan de una manera directa al conocimiento de los recursos y permiten la planeación del desarrollo de un país. Se ha manifestado cantidad de veces que el desarrollo económico de un país está precedido por el desarrollo cartográfico del mismo.

3.3 DESCRIPCION DE PRODUCTOS CARTOGRAFICOS

1. MAPA TOPOGRAFICO 1:50 000

El mapa topográfico es una representación gráfica a escala de los elementos naturales y artificiales de la superficie de la tierra, identificados y mostrados en posición correcta.

Los elementos mostrados se clasifican en cuatro grandes grupos:

Hidrografía: lagos, ríos, presas, pantanos, etc.

Relieve: montañas, valles, pendientes y profundidades.

Cultura: trabajos realizados por el hombre tales como, construcciones, carreteras, ferrocarriles, límites parcelarios, etc.

Vegetación: áreas forestales, matorrales, huertos y cultivos.

La escala 1:50 000 en mapas topográficos, proporciona la información mínima necesaria para la realización de anteproyectos de ingeniería y la información proporcionada es herramienta básica para la planificación racional y organizada a nivel microregional y urbano.

2. FOTOMAPA URBANO 1:10 000

El fotomapa es un documento cartográfico en el que todos los elementos planimétricos (construcciones, vías de comunicación, vegetación, etc.) son representados por una imagen fotográfica al cual se le adiciona información complementaria (curvas de nivel) para facilitar

su uso e interpretación.

Además de la información planimétrica y altimétrica contiene datos relativos al equipamiento, tales como: centros de enseñanza, servicios médicos, comunicaciones y transportes, nomenclatura de calles principales, etc.; se indican los nombres de los rasgos hidrográficos y orográficos.

El fotomapa por ser una copia fiel y precisa del terreno, permite un gran número de aplicaciones, que van desde ser un documento de referencia en estudios parciales hasta la realización de planes y proyectos específicos.

3. CARTA GEOLOGICA 1:50 000

La carta geológica elaborada por DETENAL, muestra gráficamente la localización y distribución de las características litológicas y estructurales del Territorio Nacional.

La información que contiene la carta se refiere a: clasificación de rocas y suelos, datos estructurales, forma, deformación o rompimiento en las rocas, como son anticlinales, sinclinales, el rumbo y echado en rocas sedimentarias, dirección del flujo en rocas ígneas, rumbo y echado de foliación, diques, fallas, fracturas, dolinas asimismo datos de geología económica, como son: ubicación y evaluación de minas y catas, los minerales que de ellas se extraen, vetas, la utilización de

las rocas y suelos como materiales para construcción, manantiales fríos o termales, posibilidades de obtención de agua subterránea, localización de pozos, norias y aeromotores.

Por medio de esta carta se pueden localizar los recursos naturales, y sirve para conocer las probabilidades de conseguir rocas útiles para la construcción o yacimientos de minerales, también se puede deducir la existencia de acuíferos que podrían aprovecharse como agua potable o para riego, en general es útil en estudios geológicos con el fin de determinar las potencialidades de una región, así como las restricciones en lugares específicos y es indispensable en la planeación de obras civiles.

4. CARTA EDAFOLOGICA 1:50 000

La carta edafológica de DETENAL es la representación gráfica de la distribución geográfica de los suelos del país de acuerdo con sus características morfológicas, físicas y químicas.

En esta carta se señalan cada una de las unidades de suelos y sus características: vocación y restricciones para el desarrollo de actividades agropecuarias; textura en términos generales, limitantes por profundidad y por presencia de fragmentos que limitan el uso de maquinaria agrícola.

La información contenida en la carta edafológica, junto con la in-

formación contenida en otros estudios hechos en DETENAL o en otras instituciones, es indispensable para programar investigaciones más de talladas que conduzcan a un mejor aprovechamiento de los recursos naturales de una región.

La carta edafológica proporciona información por planeación, investigación y educación, con aplicación práctica principalmente en estudios agropecuarios, forestales y de ingeniería civil.

6. CARTA DE USO DEL SUELO 1:50 000

Es un documento de tipo estadístico que indica la ocupación actual del suelo.

La información contenida se refiere al señalamiento de los diferentes tipos de agricultura: de riego de temporal y tipo de cultivos: anuales, permanentes y semipermanentes; las zonas de pastizales, bosques, selvas, matorrales y demás tipos de vegetación reconocidas para México. Se indica de igual manera, todas las poblaciones con sus nombres, número de habitantes y servicios con que cuentan.

La carta de uso del suelo sirve de base a estudios ecológicos, a análisis de distribución de plagas y enfermedades tanto agrícolas como de vegetación natural y permite conocer el aprovechamiento y utilización de los recursos naturales en actividades agropecuarias y forestales.

6. CARTA DE USO POTENCIAL 1:50 000

La Carta de Uso Potencial define: "Actualmente".

Definición:

Determina la resultante entre los elementos del medio ffsico y biótico; buscando definir áreas homogéneas en sus elementos constitutivos; de tal forma que pueda definirse para esas áreas el mejor uso al que pueden dedicarse.

Anexo:

Uso Potencial mejor aprovechamiento, óptimo desarrollo agropecuario - forestal de un punto de vista ecológico - económico - redituable.

Contenido:

Información en cuanto al uso apropiado (mejor aprovechamiento) de las diferentes áreas representadas en las cartas. Separando con valores del 1 al 8 las diferentes clases; considerando la clase 1, 2, 3, 4, potencialmente agrícolas, las clases 5, 6, 7, pecuario - forestales, y la clase 8 nula ó de vida silvestre.

Además: representa cuadros de cultivos viables de las diferentes tierras potencialmente agrícolas.

Indica áreas con erosión y el grado de éste.

Indica áreas de temporal que al introducirles riego serían de buen potencial agrícola.

Aplicaciones:

- Establecer programas para controlar la erosión.
- Auxiliar en los proyectos de distritos de riego.
- Señala zonas para que puedan utilizarse como centros de población.
- En la planeación y distribución de áreas agrícolas, pecuarias o forestales.
- Auxilian a trabajos de investigación y enseñanza.

7. CARTA DE CLIMAS 1:500 000

La carta de climas, representa gráficamente las características climáticas de las diferentes regiones del país.

Muestra las regiones con climas cálidos, húmedos, templados húmedos, secos y fríos; además se indica por medio de curvas isoyetas las regiones de igual precipitación pluvial y por medio de curvas isotermas las regiones de igual temperatura media. En el reverso de las hojas se encuentran las gráficas de variación de temperatura y precipitación media mensual de cada una de las estaciones hidrométricas.

Con la ayuda de la información contenida en la carta es posible preveer la variabilidad de los elementos que conforman el clima de una región, información muy importante en la planeación de trabajos

de campo, obras de ingeniería y demás actividades en las que el clima sea factor determinante.

8. CARTA DE RECURSOS TURISTICOS ESCALA 1:1 000 000

Es la representación cartográfica del inventario de los atractivos turísticos naturales y culturales del país.

Se localizan los sitios de interés turístico; los servicios de recepción: hospedajes, restaurantes, trailers parps; las vías de comunicación (carreteras pavimentadas, terracerías, brechas) y los lugares de abastecimiento de combustible; la red ferrocarrilera, aeropuertos y transbordadores. Se elabora un croquis de localización de poblaciones, una tabla de distancias y una descripción resumida de los atractivos tu rísticos.

Sirve como guía para el turista nacional y extranjero que pretenda conocer el país; como fundamento de planes y políticas de promoción y desarrollo turístico; como medio de conocimiento, conservación y aprovechamiento de nuestro patrimonio cultural.

3.4 ELABORACION DE CARTAS TEMATICAS

El proceso de elaboración de cartas temáticas es diferente al proceso que se sigue en la elaboración de Mapas Topográficos ya que para elaborar las primeras se necesita información topográfica que

sirva de base a la información temática que se desea representar.

El proceso consiste esencialmente en lo siguiente:

1. Preparar la base topográfica.
2. Reunir la información relativa al tema que se desea presentar.
3. Analizar y procesar la información de manera que podamos representarla en forma gráfica.
4. Diseño de la carta.
5. Edición e impresión.
6. Distribución.

3.5 APLICACIONES DE LA CARTOGRAFIA.

La historia ha demostrado que el desarrollo cartográfico precede el desarrollo económico de cualquier país. Esto nos hace pensar que la información cartográfica es una plataforma común de conocimientos básicos que permite emprender, sobre terreno firme, las tareas que demanda nuestro desarrollo.

La Cartografía sustenta las actividades de planeación global regional y sectorial.

La Cartografía en nuestros días, constituye parámetro esencial de la planeación del desarrollo, la defensa del medio, la conservación del equilibrio ecológico; permite el conocimiento de la potencialidad y vocación de los recursos, permite racionalizar y optimizar su utilización; así como ordenar el territorio y establecer sistemas de trabajo di-

rigidos a lograr un desarrollo económico, social, político y cultural.

La Cartografía es utilizada en muy diverso grado por la población en general, por el agricultor, por el ganadero, por el industrial, el ingeniero, el arquitecto, el urbanista como apoyo a sus trabajos; sirve al biólogo, al sociólogo y al economista; al trabajador social, al político, al estudiante y a los jóvenes. En una palabra la Cartografía interesa a todos ya que por medio de cartas o mapas se aportan datos fidedignos del ambiente y características de nuestro mundo que es donde encontramos apoyo, abrigo y soporte; donde tienen lugar todas las actividades económicas, sociales, políticas y culturales del hombre.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



UTILIZACION DE LOS SENSORES REMOTOS EN LA PLANEACION
DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS

BASE GEOGRAFICA DE DATOS

DR. ADOLFO GUZMAN ARENAS

MARZO, 1979

DIGITAL MODEL FOR THREE-DIMENSIONAL SURFACE REPRESENTATION

Dora Gómez and Adolfo Guzmán

Computer Science Dept., IIMAS
National University of Mexico

ABSTRACT

A tree of planar or spherical triangles is used to represent a 3-d surface; rather flat regions will be represented by large triangles, while abrupt zones will require further subdivision of the model into smaller triangles. Their vertices are not placed on a regular grid; they are allowed to fall at (or near) places such as ridges and peaks, where the change in slope is significant.

Starting from a collection, not necessarily good or complete, of "significant" points, the model selects five of them to form four triangles. Each triangle either matches the surface within a prespecified error tolerance, or else is further subdivided, by selecting appropriate "significant" points, into four triangular sons, which then receive in turn the same treatment. The tree stops growing when all the surface is represented within the specified tolerance. The model consists of the vertex points arranged into a table suitable for quick retrieval and interpolation.

Thus, the model guides its own construction; its components (points) are taken from the set of "significant" points, not in an arbitrary fashion but only where and when needed. Since the model proposes the approximate location of the next point to be included in it, the set of "significant" points may be small or non-existent.

A constant signal to noise ratio and a representation thrifty in storage are achieved in this manner.

The model is being tested for use in digital representation of terrain elevation. Large savings in memory are expected, when compared to contour lines storage, for instance.

The paper concludes with some comments in favor of the use of this model to describe gray level pictures.

Key words: three-dimensional surfaces; model; representation; description; terrain; digital; picture; gray level; altitude; computers.

BIOGRAPHICAL SKETCH

Adolfo Guzmán teaches Computer Science at the National University of Mexico, and carries out applied research in digital picture processing. He got his B. S. from the Politécnico de México and his Ph. D. from M.I.T. Dora Luz Gómez is a research assistant at the same place. She studied to be an Accountant at the National University. Her interests are in problem solving and picture processing.

ACKNOWLEDGMENTS

Andrew Clement and T. Peucker gave the triangular idea; Renato Barrera contributed to the concept of a hierarchy of triangles and other good advices. Abel Carreño and Angel García Amaro, of CETENAL, gave good photogrammetric advice. T. Radhakrishnan kindly revised the manuscript.

Work herein reported was partially done under the Joint Research Agreement (IX-1976) between CETENAL and UNAM.

1. INTRODUCTION

The digital representation of three-dimensional surfaces plays important roles in photogrammetry and cartography (drainage patterns, contour lines [5], valleys formation, stereoscopy [4], dimensions of the human body); scene analysis (occlusion of bodies, explanation of regions [6] and objects, range finding, shape from shading [7]); computer graphics (hidden lines, shadows, coloring, specular reflexions); image processing; remote sensing (thickness of ice [8], underground geology), and other disciplines.

The surfaces to be considered are of the following types:

$$z = f(x,y) \quad (I)$$

$$g(x,y,z) = 0 \quad (II)$$

Surfaces of type (I) give a single z value ("height") at each pair of coordinates x,y ; surfaces of type (II) can represent more general surfaces in the space, for instance the skin of a hand (figure 1 'Types of Surfaces'). The examples of the paper refer only to surfaces of type (I), but the model hereby proposed can be used for both types.

Our model for a surface consists of a minimum complete cover of triangles; that is, a mutually exclusive, collectively exhaustive finite set of triangles such that (1) each point in the surface is represented by exactly one triangle [12] and (2) every triangle represents at least one point of the surface. To this we add the important restriction: (3) the difference between the coordinates x,y,z of a point in the surface and those x',y',z' of its representative (as given or computed from the model), is less than a pre-specified error or tolerance ϵ . Thus, for two tolerances $\epsilon_1 > \epsilon_2$, the same surface will be represented by two models M_1 and M_2 , where M_2 is a refinement of M_1 .

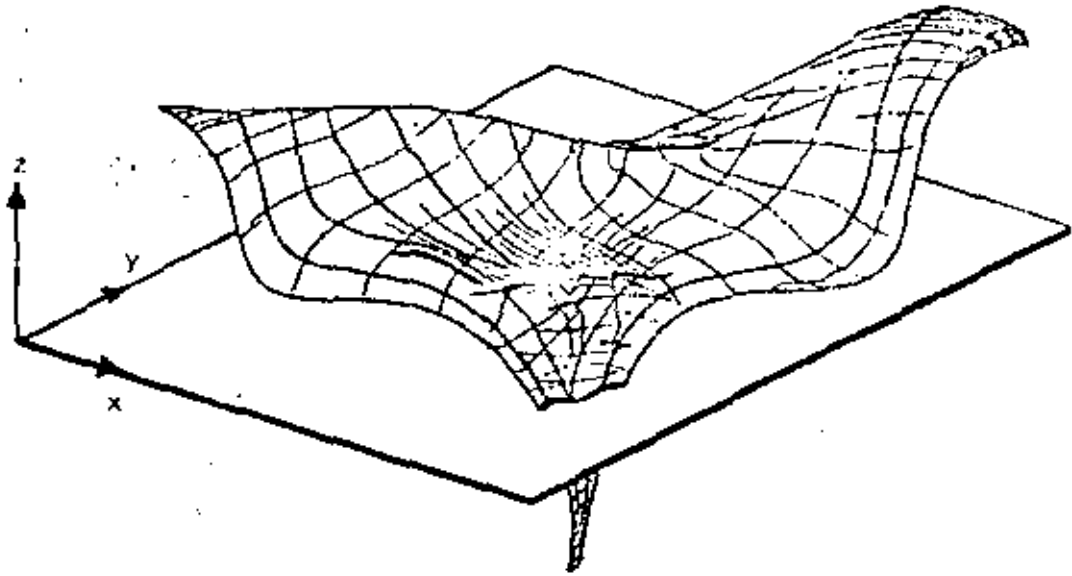
For surfaces of type (I), we make $x'=x$, $y'=y$ and the distance between the real point and the model point is just the difference in heights.

1.1 Non uniqueness of the model

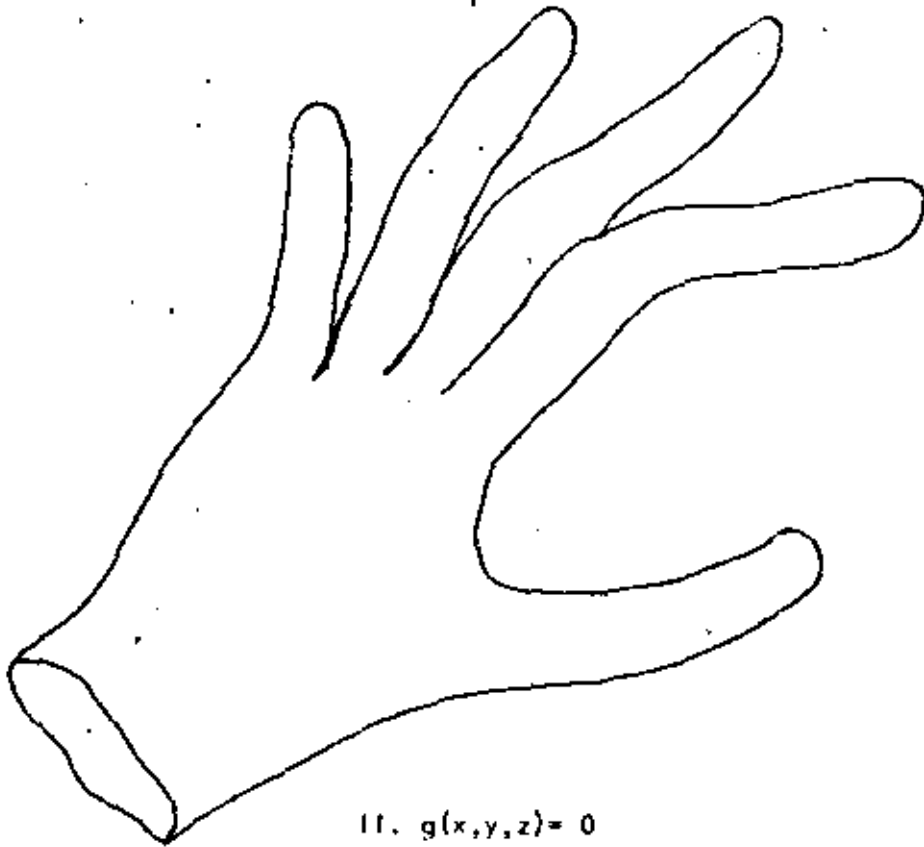
Several complete covers for a surface exist; in order to save memory, it is preferable to use a cover with fewer triangles (hence, each triangle covers in the average a larger area), as long as they obey restriction (3) above. The idea is: (4) not to subdivide a triangle unless it fails to represent reality within the ϵ tolerance.

Even so, a 3-d surface can be represented by several models complying with (4) above. There is no unique model: by changing the position of the original rectangular frame a new representation is obtained. A different starting rectangle in the procedure or a different orientation of the grid will produce a different cover of triangles.

This is not a problem for 3-d surface representation, as used for instance in applications to cartography and computer graphics. For surface comparison it



I. $z = f(x, y)$



II. $g(x, y, z) = 0$

FIGURE I 'TYPES OF SURFACES'

The model described in this paper is able to represent either (I) single height surfaces, or (II) more general surfaces.

is much better to have a unique (canonical) model, perhaps through a normalization procedure.

The set of significant points. Using a method external to the model, for instance stereoscopy [4], gradient extraction [10], river following, or others, an initial set of "significant" points is chosen on the 3-d surface that we want to represent. A point is called "significant" if in its neighborhood the change in slope is large.

The model begins by using some of these points; if it later finds necessary to grow, it indicates the approximate place (x,y coordinates) where a new "significant" point should be added to the model.

The model thus consists of a subset of "significant" points, defining a triangular irregular mesh; if the original set of "significant" points is too small, the model will suggest where to add one; if too many, most of them will be ignored (not included in the model); if the procedure that implements "significance" is noisy or unreliable, the model still guarantees the ϵ tolerance, but storage economy suffers.

Therefore, in a computer implementation, it is not necessary to obtain first the set of significant points and then to pick the model from them; instead, the model can begin to grow as soon as five or six are found, and the procedure that extracts significant points is called by the model as it deems necessary.

1.2 Obtention of the three-dimensional surface

It is assumed that the surface to be modelled already was obtained and exists available in some suitable representation, v.gr., a 2-d matrix containing height values. This data could have been obtained by stereocorrelation [4] of a pair of pictures, by interpolation of digitized contour lines [1] or by other means.

II. CONSTRUCTION OF THE MODEL

In order to describe the model, it is necessary to explain

- (1) its constituent parts. In this case, they are vertices ("significant" points from the 3-d surface to be represented) that form planar, but tilted, triangles.
- (2) how the model is stored; the data structure used to keep the model in memory (primary or secondary storage). A tree of triangles, each with none or four sons, is used.
- (3) the use of the model: the procedure to follow for reconstruction of the

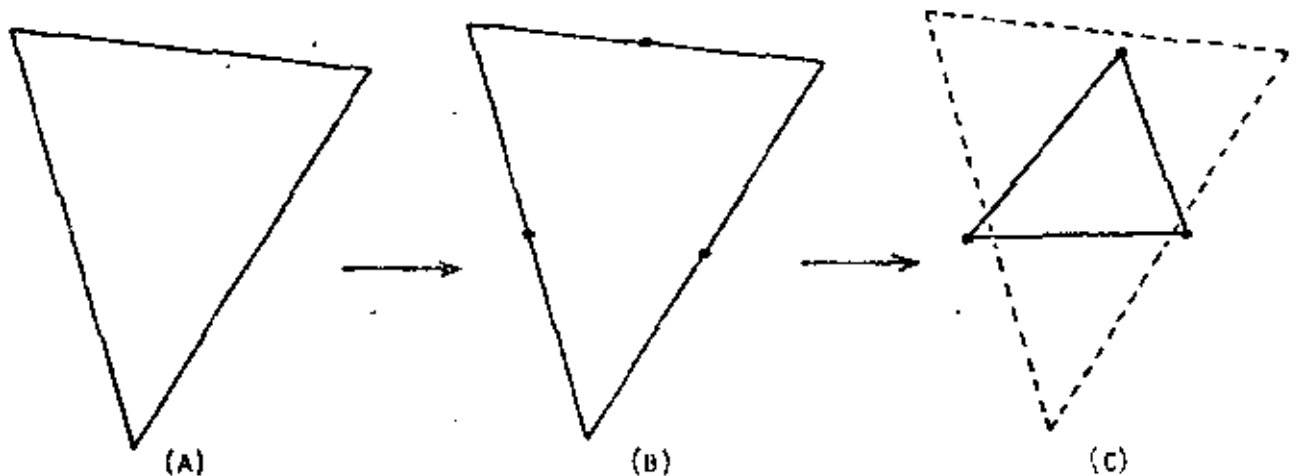


FIGURE 2 'TRIANGLE REFINEMENT'

If it is necessary to refine triangle (A), three new vertices are proposed at the mid-points (B) of the sides; "significant" points are located near those mid-points; once they are found (C), four new triangles stand instead of the original (A).

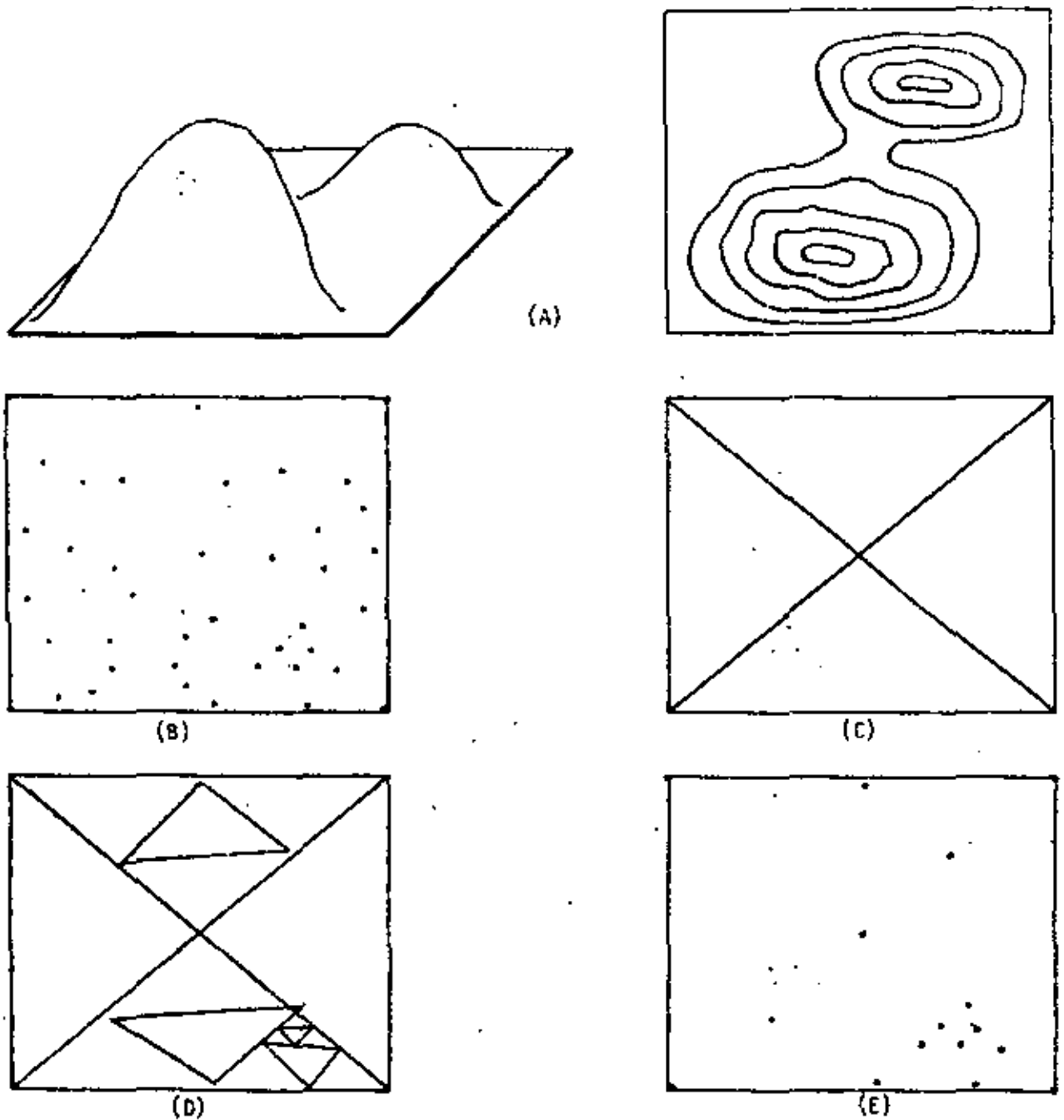


FIGURE 3 'MODEL BUILDING'

- (a) the surface. (b) the "significant" points.
 (c) the four initial triangles.
 (d) the final triangles.
 (e) the points of the model, usually a subset of (b).

Triangles (d) are in the space (they project out of the paper);
 similarly, points (e) have three coordinates.

3-d surface from the model; the way to obtain the coordinates of a point in the surface from the cover of triangles. Here a directed access is used to the correct triangle starting from the top of the tree of (2), and falling down the appropriate chain of triangle sons, using little search and no backtracking.

- (4) the construction of the model, i.e., the obtention of its parts from the 3-d surface. A recursive procedure will be presented, where the model guides its own construction, by suggesting places (x,y coordinates) where to incorporate into itself points from the 3-d surface that are also "significant" with respect to changes in slope.

11.1 The parts of the model

To represent a surface $z = f(x,y)$, the model uses a collection of planar tilted triangles; each of them is defined by its three vertices, chosen to lie on the surface $z = f(x,y)$ to be represented.

All the points inside the triangle are interpolated linearly: the surface inside the triangle is considered flat (but not horizontal, in general). Since the real surface $z = f(x,y)$ is not flat, an error is introduced by this assumption. If everywhere in the triangle this error (height difference) does not exceed a tolerance ϵ , the planar triangle is considered to be a good (and final or "terminal") representative for that region of the surface, and it is included in the model. If the error is larger, the triangle is discarded by dividing it into four smaller triangles, each of which in turn undergoes the same treatment.

Initially the surface is divided into a small set of arbitrarily chosen, large triangles; if the surface is bound by a rectangle (as it is frequently the case in maps), four triangles are chosen as shown in part C of Figure 3 'Model Building.'

The final model contains triangles (of different sizes) that represent the surface $z = f(x,y)$ with a tolerance ϵ . Each of the vertices of these triangles was proposed by the model by dividing a triangle in four through inclusion of new vertices near the middle points of the sides (Figure 2 'Triangle Refinement.').

Once every triangle is refined, the vertices ((E) in fig. 3 'Model Building') are stored in an appropriate way, suitable for quick data retrieval for surface reconstruction.

11.2 When to stop refining

A triangle such as (A) in figure 2 'Triangle Refinement' is refined further, unless

- 1) the difference between the real height $z = f(\bar{x}, \bar{y})$ and the computed height \bar{z} at the center of mass $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ of the triangle is smaller than

ϵ , and

- 2) every point in a grid of points spaced at most K units apart and inside (A) is within ϵ of the real point on the surface $z = f(x,y)$.

Test (1) is a quick test; test (2) is applied only if (1) does not find a difference exceeding ϵ .

K , the distance between two points in the grid of (2), is a function of ϵ ; normally, $K = \min(\epsilon/m, K_0)$, where m is the mean slope of the surface at the triangle (A) , and K_0 is the diameter of the smallest topographic feature (hill, ravine) that it is necessary to represent in the model. Generally K_0 is given by the user of the model: "be sure to check the model every 500 horizontal meters for accuracy"; then $K_0 = 500$.

Flow diagram. The procedure for construction of the model could be summarized as:

- Let T be the set of triangles that are candidates to be included in the model. Initialize T with the four triangles of (C), Fig. 3 'Model Building.'
- Mark every triangle of T as "terminal" if it passes tests (1) and (2) of Section 11.2 'When to stop refining.' If these tests fail for a triangle, mark it "non-terminal", divide it into four sons (cf. Fig. 2 'Triangle Refinement') and add them to T .
- Exit when all triangles of T (including all the additions to T) are marked (either "terminal" or "non-terminal.") Then T is the model.

BEGIN

T the four initial triangles of fig. 3C;

For every triangle in T

if it passes tests (1) and (2) of Sec. 11.2
then mark it 'terminal'
else mark it non terminal and
add its four sons to T ;

END.

TABLE 1 'FLOW DIAGRAM FOR MODEL BUILDING'

This simple program constructs surface models such as that shown in fig. 6 'Model Example.'

- A non-terminal triangle is not needed in the model, since
- (1) its accuracy is worse than ϵ , and
 - (2) some of its descendants are a *fortiori* terminal triangles, hence suitable for modelling.

Thus, the model could be just the collection of terminal triangles.

This is advisable when the cover is made of similar triangles (q.v.), where it is easy to pick up the correct triangle for surface reconstruction. If the triangles are not similar, it is preferable to retain the non-terminal triangles into the model. This facilitates the addressing of the correct terminal triangle that gives the height z of a point (x,y) (i.e., the point (x,y,z) that represents the point (x,y,z) of the 3-d surface). More of this in the section IV 'Data Retrieval for Surface Reconstruction.'

11.3 Cover of similar triangles

Two polygons are similar if the corresponding angles are equal, the sides parallel and their length proportional.

If in figure 2 'Triangle Refinement' we stop the refinement at (B), choosing the midpoints as new vertices to include in the model, the final cover of the model is composed of two families of similar triangles, because a line joining the middle points of two sides is parallel to the third side.

A word of caution: the triangles are not similar as they lie in the 3-d space. Their projections on the plane x,y do form a family of similar 2-d triangles (for triangles $a b e$ and $c d e$ of fig. 4 'Model Visualization', and all their descendants) another family of similar 2-d triangles for triangles $d a e$ and $b c e$; and all their descendants.

The advantages of the cover of similar triangles are:

- (a) storage of these triangles is easy. (9) solves a hierarchy of squares.
- (b) reconstruction of the surface from the model becomes simplified.
- (c) a set of "significant" points (B in fig. 3 'Model Building') is not needed.

The disadvantage comes from (c):

- (d) The model might contain more points, since they are not special or significant: they are not the best to choose for interpolation of planes.

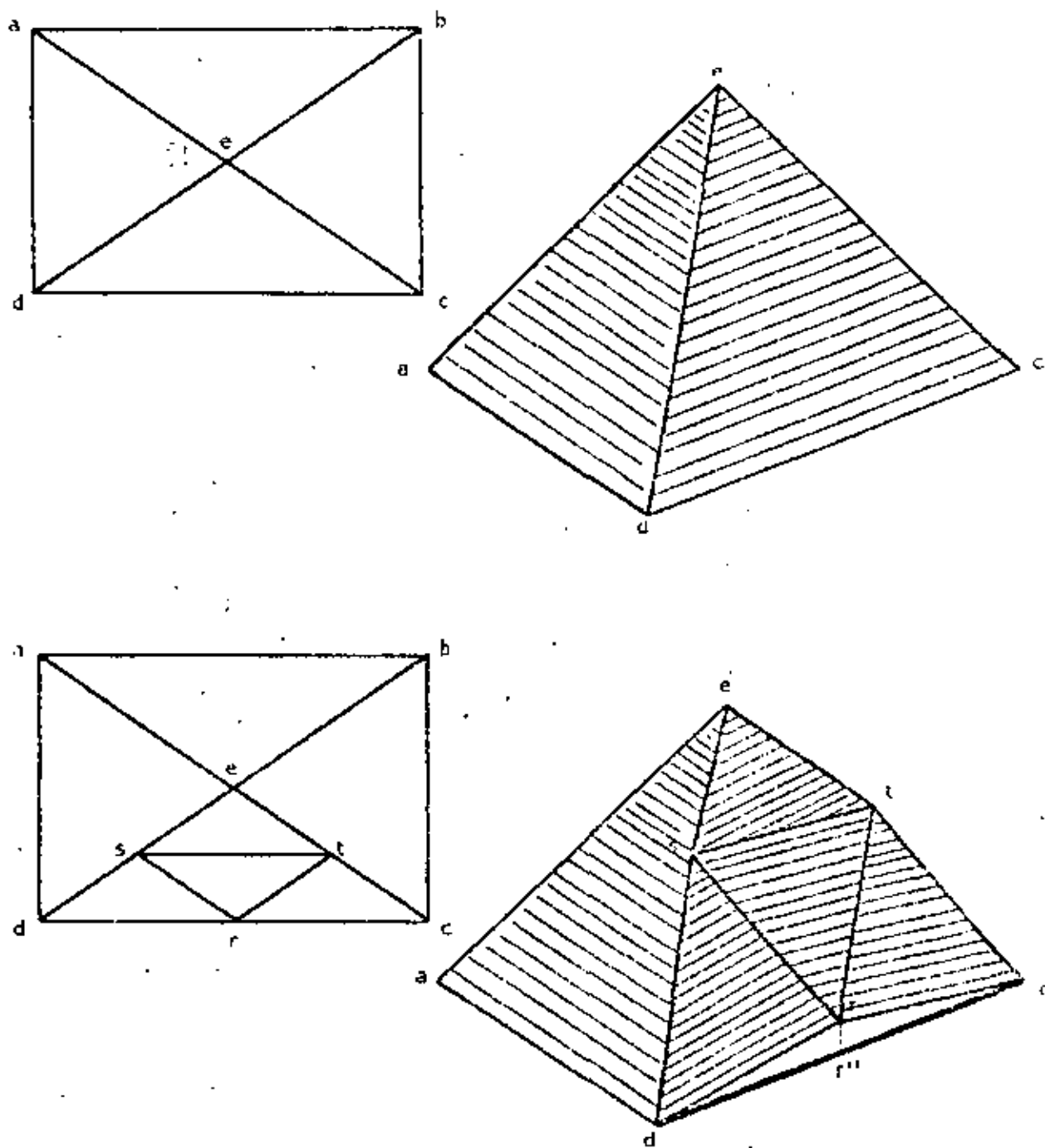


FIGURE 4 'MODEL VISUALIZATION'

We try to give an isometric view of the appearance of the triangular model in 3-d space. Point $S=(s_x, s_y, s_z)$ does not lie on the 3-d line $d \rightarrow e$; but point $(s_x, s_y, 0)$ does lie on the line $(d_x, d_y, 0) \rightarrow (e_x, e_y, 0)$.

Triangles such as $d \rightarrow s$ or $d \rightarrow t$ are not part of the model; they represent no part of the real 3-d surface because they lie vertical. They are useless.

CONVENTIONS I. Refer to part (A) of Fig. 5 'Data Structure.'

Vertices of triangles which are sons of the rectangle are named as shown. The correct names for (A) are:

rectangle: a b c d

M = triangle a b e

N = triangle b c e

O = triangle c d e

P = triangle d a e

CONVENTIONS II. Refer to part (B) of Fig. 5 'Data Structure.'

Vertices of triangles that are sons of triangles are named clockwise, starting with the vertex that also belongs to the father.

If the triangle to be named is the internal triangle (P), then start with the vertex that falls near the middle point of line 1→2, where 1 is the first of the vertices that belong to the father, and 2 is the second of them.

The correct names for triangles of (B) are:

triangle 1 2 3 (first vertex is 1)

M = triangle 1 4 6

N = triangle 2 5 4

O = triangle 3 6 5

P = triangle 4 5 6

T A B L E 2 'N A M I N G C O N V E N T I O N S'

These conventions are important for correct storage of vertices (such as 4 of the internal triangle P), and its subsequent appropriate retrieval for reconstruction of the 3-d surface. For a use, see definition of procedure 'altitude' in Section IV.

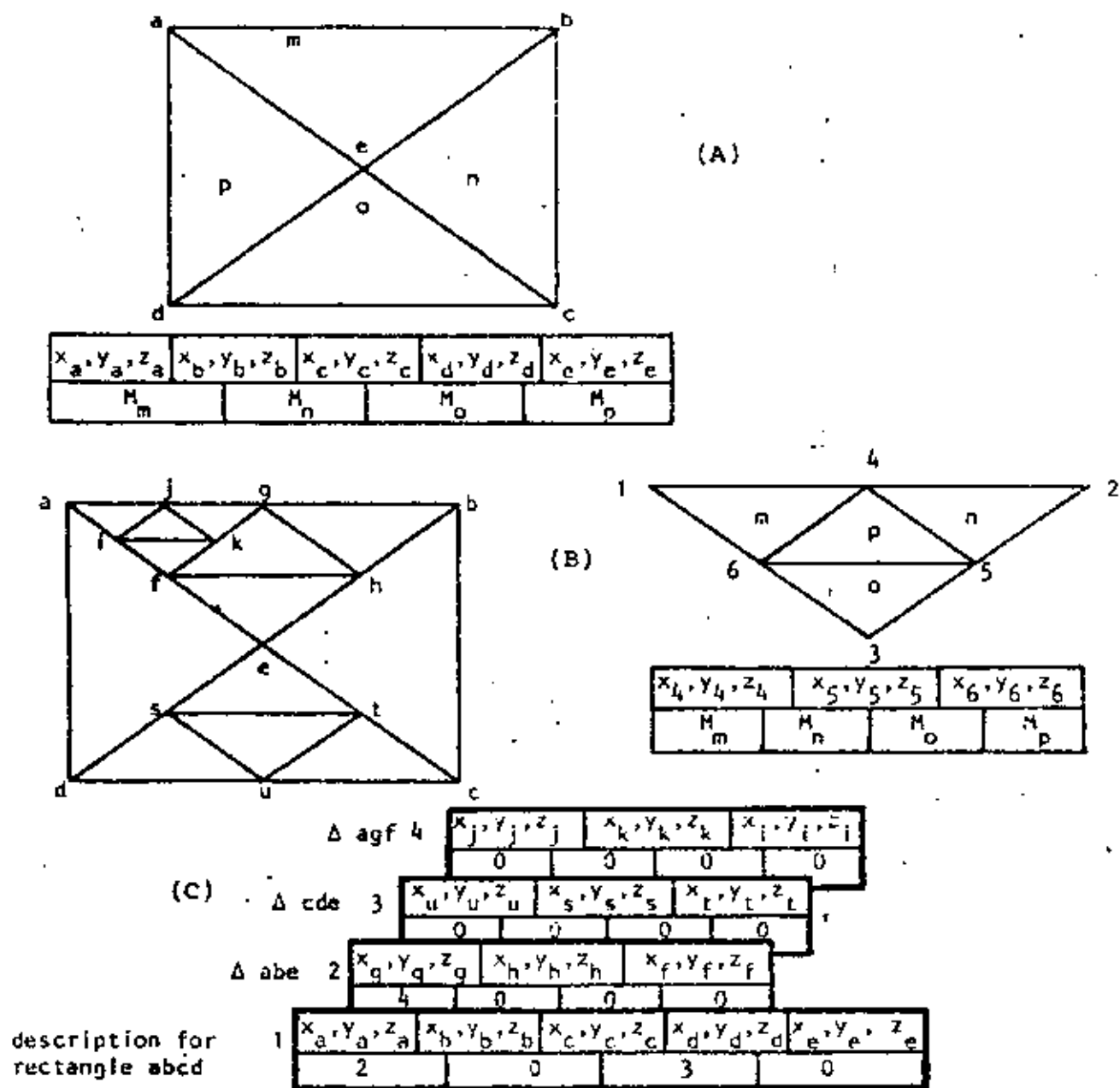


FIGURE 5 'DATA STRUCTURE'

- (A) Storage conventions for the initial rectangle.
 (B) Storage conventions for a non-terminal triangle 1 2 3. its sons are M, N, O, P.
 (C) Example of a model and its data structure. Only a non-terminal triangle uses up a frame. The 2 0 3 0 marks of frame 1 mean that son M is non-terminal and it is described in frame 2, son N is terminal, son O is non terminal and it is described in frame 3 and son P is terminal (mark = 0 means terminal). This model is stored in a matrix (C) which is a collection of frames.

(III). DATA STRUCTURE FOR MODEL STORAGE

This section describes the way to organize the storage of the model. Essentially, the storage consists of a collection of triangles. Each triangle is stored in a "frame"; each of them contains

- three internal vertices
- a "terminal" or non-terminal mark for each son.

The terminal mark (zero) indicates that a triangle son already fulfills the ϵ accuracy, hence it (the son) has no sons of its own --need not be further subdivided.-- The non-terminal mark, an integer different from zero, indicates the location (frame) in the model matrix occupied by this triangle son. Thus, when a node is marked as non-terminal, the mark itself also says where (in what frame) that son is stored. See fig. 5 'Data Structure' and Table 2 'Naming Conventions.' Slightly different conventions were used in LIMAS-UNAM /5/.

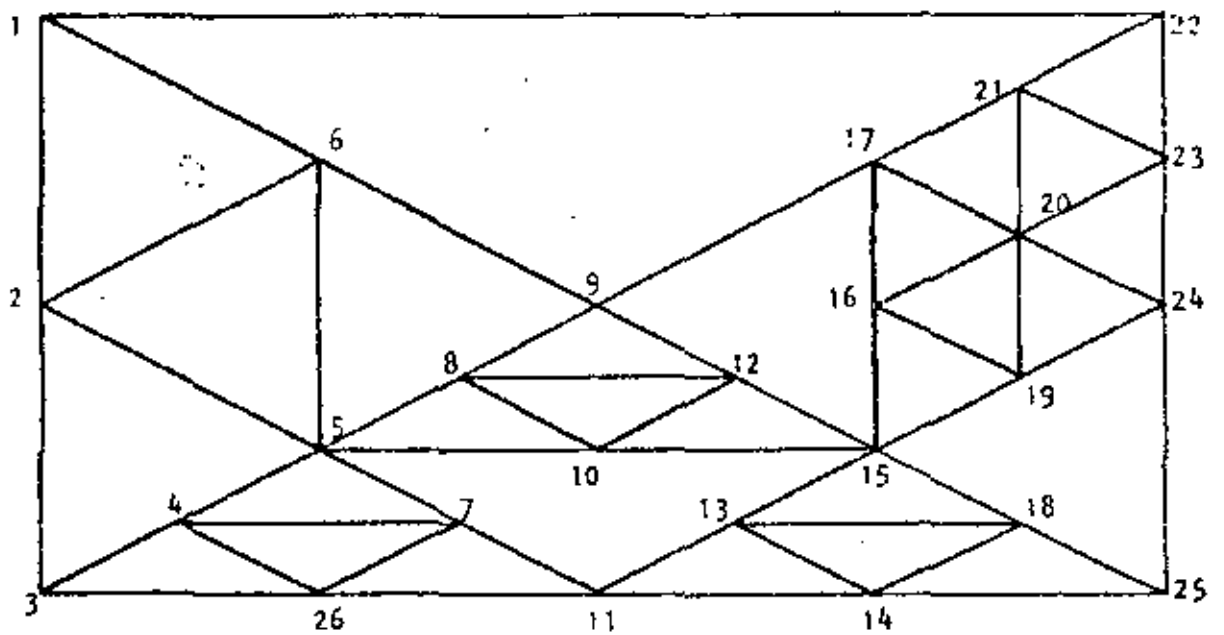
The model is stored in a matrix (C, Fig. 5, 'Data Structure') which is a collection of frames. A non-terminal triangle occupies a frame; it stores; clockwise (B, Fig. 5) its three central vertices and a mark specifying for each son whether it is terminal or not. A terminal triangle does not use a frame, since it has no sons. But a non-terminal triangle could very well have four terminal sons. That is the case of frames 4 to 9 of fig. 6 'Model Example.'

The initial frame, frame 1, is stored in a slightly different manner (part A of fig. 5 'Data Structure') because it describes a rectangle.

A more complicated example is given in fig. 6 'Model Example.'

Storage of vertices. When describing a non-terminal triangle (v.gr., triangle 1 2 3 of B, Fig. 5 'Data Structure'), only vertices 4, 5 and 6 are stored in the frame belonging to that triangle 1 2 3, since vertices 1, 2 and 3 were undoubtedly stored in the ancestors of triangle 1 2 3. This avoids multiple storage of vertices, and exploits the fact that in order to examine whether a point (x,y) falls inside the 2-d /13/ triangle 1 2 3 or not, we already asked a similar question to the ancestors of 1 2 3. In this way the coordinates of vertices 1, 2 and 3 are already known when triangle 1 2 3 is accessed (cf. Section IV 'Data Retrieval for Surface Reconstruction').

A vertex is stored by storing its three coordinates x, y, z. Some duplication (not triplication or multiplication) occurs when a vertex such as 5, 20 or 15 in Fig. 6 'Model Example' gets stored by two non-terminal brother triangles. For instance, vertex 5 is stored at frame 4 that describes triangle 3 1 9, and also at frame 3 that describes triangle 25 3 9. The trivial cure will be to keep a table of vertices, and to store in the frame pointers to the table. Instead of the three coordinates x,y,z.



		V E R T E X					Δ	Δ	Δ	Δ
		a	b	c	d	e	M	N	O	P
(□ 1 22 25 3)	frame 1	1	22	25	3	9	0	2	3	4
		V E R T E X								
		4	5	6						
(Δ 22 25 9)	2	24	15	17			5	0	0	6
(Δ 25 3 9)	3	11	5	15			7	8	9	0
(Δ 3 1 9)	4	2	6	5			0	0	0	0
(Δ 22 24 17)	5	23	20	21			0	0	0	0
(Δ 24 15 17)	6	19	16	20			0	0	0	0
(Δ 25 11 15)	7	14	13	18			0	0	0	0
(Δ 3 5 11)	8	26	4	7			0	0	0	0
(Δ 9 15 5)	9	8	12	10			0	0	0	0

FIGURE 6 'MODEL EXAMPLE'

This example was constructed using the rules (A) and (B) of Fig. 5 'Data Structure' and Table 2 'Naming Conventions.'

Each frame consists of vertices and pointers to other frames. Only non-terminal triangles occupy a frame of the matrix. This matrix is the model.

This table of vertices is not used in our model because it saves little storage:

- (1) if both a pointer and a vertex coordinate occupy a word of memory, then to use the table requires 2 pointers + 3 coordinates = 5 words; not to use the table requires 3 coordinates + the same 3 coordinates = 6 words;
- (2) if for some reason triangle 2539 selects vertex 5 as the "significant" point near the mid-point of side 3-9 (Refer to Fig 6), but triangle 379 selects vertex 5' (a different vertex, near vertex 5 but not the same) as the "significant" point near the mid-point of side 9-3, then the table wastes memory.

III.1 Simplified storage for cover of similar triangles

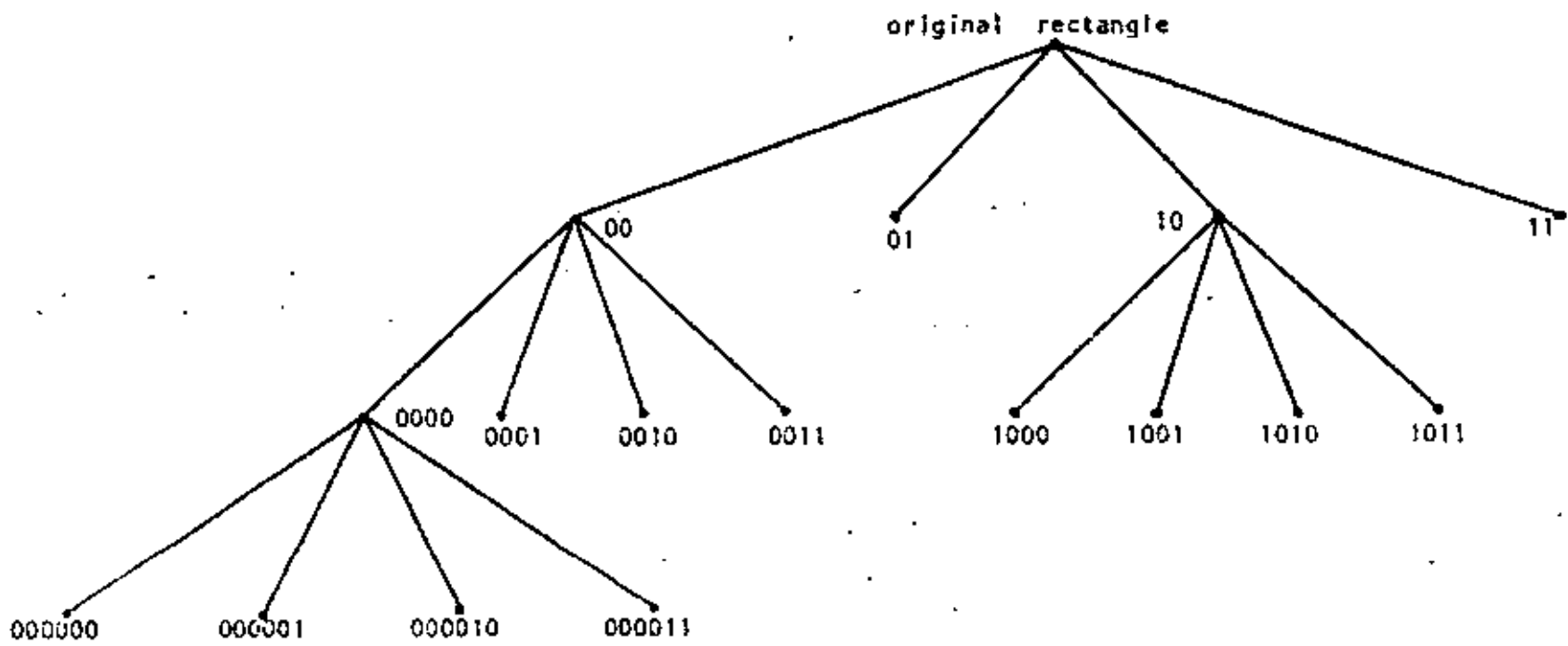
If we assume that the rectangle $a b c d$ (Fig. 5 'Data Structure') is a square and that the "significant" points are exactly at the mid-points of the sides of the triangles, instead of near them, then all the two-dimensional triangles [13] are similar (in fact, they are isosceles right angled triangles) and the (x,y) coordinates of any vertex need not be stored, since they are the average of the (x,y) coordinates of the vertices of an appropriate side.

The new representation for square $a b c d$ of Fig. 5 is:

	Frame #	vertex a	vertex b	vertex c	vertex d	vertex e	Δ M	Δ N	Δ O	Δ P
(rectangle $a b c d$)	<u>1</u>	Z_a	Z_b	Z_c	Z_d	Z_e	<u>2</u>	0	<u>3</u>	0
			vertex 4	vertex 5	vertex 6					
(triangle $a b c$)	<u>2</u>		Z_g	Z_h	Z_f		<u>4</u>	0	0	0
(triangle $c d e$)	<u>3</u>		Z_u	Z_v	Z_t		0	0	0	0
(triangle $a g f$)	<u>4</u>		Z_j	Z_k	Z_i		0	0	0	0

If the original area is not a square but a rectangle, we will have two families of similar two-dimensional triangles.

If we denote the sons M, N, O and P by 00, 01, 10 and 11, then we could form from figure 5 the following tree:



First generation

$$\Delta a b e = 00$$

$$\Delta b c e = 01$$

$$\Delta c d e = 10$$

$$\Delta d a e = 11$$

Second generation

$$\Delta a g i = 00 00$$

$$\Delta b h g = 00 01$$

$$\Delta e f h = 00 10$$

$$\Delta g h i = 00 11$$

$$\Delta c u t = 10 00$$

$$\Delta d s a = 10 01$$

$$\Delta e t s = 10 10$$

$$\Delta u s t = 10 11$$

Third generation

$$\Delta a j l = 00 00 00$$

$$\Delta g k j = 00 00 01$$

$$\Delta h i k = 00 00 10$$

$$\Delta j k l = 00 00 11$$

These codes could be combined with the z values to render a compact model. We do not pursue this further. In a similar manner, a tree of squares can be represented [9].

IV. DATA RETRIEVAL FOR SURFACE RECONSTRUCTION

In order to recover the 3-d surface, it is sufficient to ask the model what is the z value for any pair x,y. This is realized by the function ALTITUDE.

ALTITUDE (x, y) % returns the height z of the point (x,y) as obtained from
 % the model. It is defined as:

```
a := MODEL [1,1] ;    % first vertex of frame 1. Frame 1 is the rectangle.
b := MODEL [2,1] ;    % MODEL [*,1] is the frame 1, a non-terminal triangle.
c := MODEL [3,1] ;    % MODEL [*,*] is the matrix containing the whole model.
d := MODEL [4,1] ;
e := MODEL [5,1] ;
m := MODEL [6,1] ;    n := MODEL [7,1] ;    o := MODEL [8,1] ;
p := MODEL [9,1] ;    %retrieving the pointers to the sons.
error := -1;
```

```
ALTITUDE := if inside (a,b,e,x,y)
then        if m = 0 then height (a,b,e,x,y)
            else ZETA (a,b,e,x,y,m)
else if inside (b,c,e,x,y)
then        if n = 0 then height (b,c,e,x,y)
            else ZETA (b,c,e,x,y,m)
else if inside (c,d,e,x,y)
then        if o = 0 then height (c,d,e,x,y)
            else ZETA (c,d,e,x,y,m)
else if inside (d,a,e,x,y)
then        if p = 0 then height (d,a,e,x,y)
            else ZETA (d,a,e,x,y,m)
else error;
END ALTITUDE.
```

Function INSIDE (a,b,c,x,y) is true if the point (x,y,0) is inside the triangle (a_x, a_y, 0), (b_x, b_y, 0), (c_x, c_y, 0) with sidewalks. Ref. Fig. 7 'Coplanar Sidewalks.'

A point p is inside triangle a b c if p and c fall on the same side of a b and p and b lie on the same side of a c, and p and a rest on the same side of b c. A thesis [4] contains listings and results.

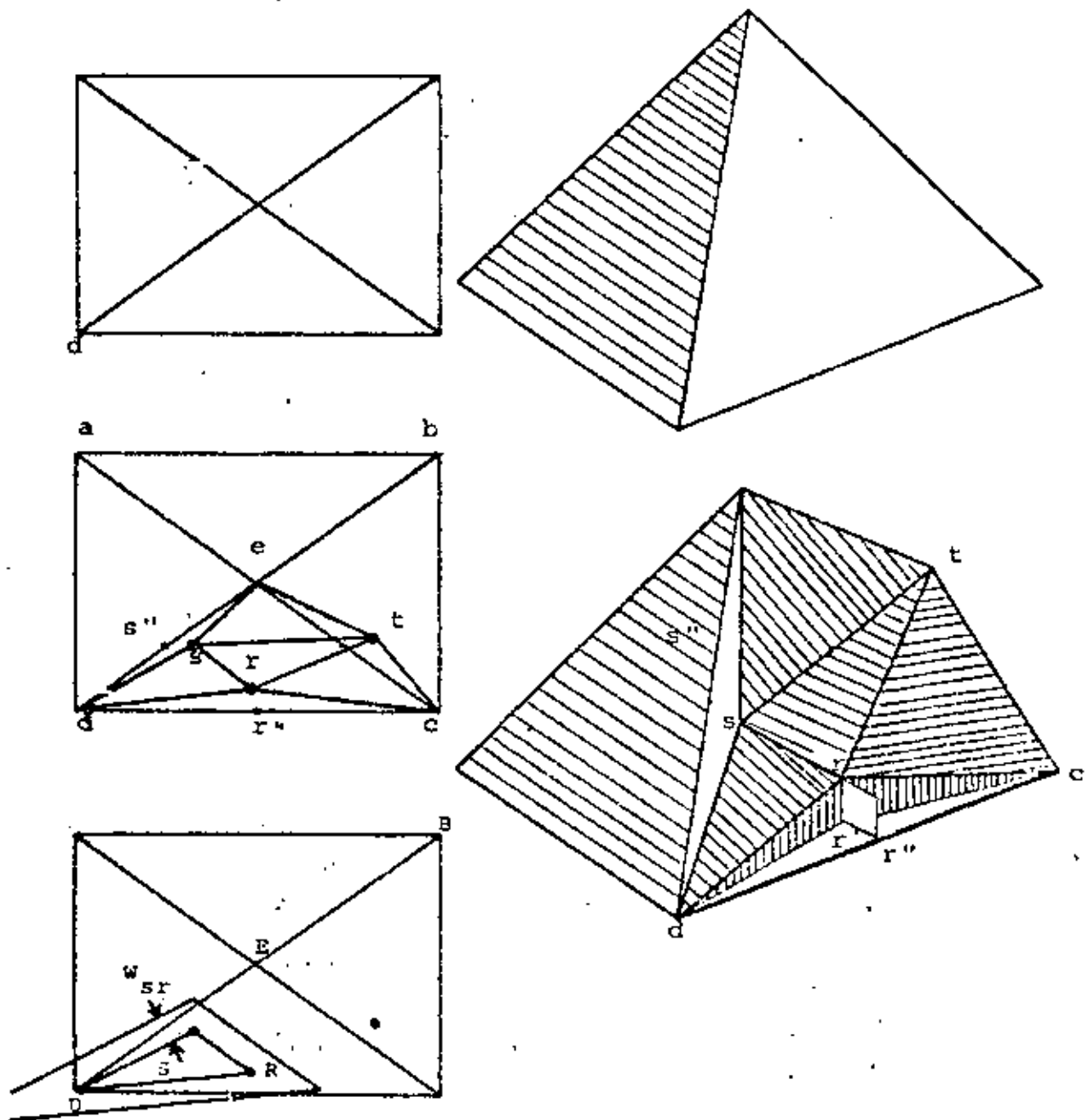


FIGURE 7 'COPLANAR SIDEWALKS'

Compare with Figure 4 'Model Visualization.' If point $r = (r_x, r_y, 0)$ does not fall on line $(c_x, c_y, 0) \rightarrow (d_x, d_y, 0)$, an horizontal area $c d h'$ will be without coverage by the triangles; a corresponding part of the 3-d surface will fail to be represented. The cure for this is to give "flaps" to the triangles, so that triangle $a d s$ (and its other three brothers) are enlarged by a coplanar sidewalk that covers up to h [12].

Procedure ZETA (v1, v2, v3, x, y, m) is defined as

```
v4 := model [1,m] ;
v5 := model [2,m] ;
v6 := model [3,m] ;
mm := model [4,m] ;
n := model [5,m] ;
o := model [6,m] ;
p := model [7,m] ;

ZETA := if inside (v1,v4,v6,x,y)
then      if mm = 0 then height (v1,v4,v6,x,y)
          else ZETA (v1,v4,v6,x,y,mm)    %see table 2 'Naming Conventions'
else if inside (v2,v5,v4,x,y)
then      if n = 0 then height (v2,v5,v4,x,y)
          else ZETA (v2,v5,v4,x,y,n)
else if inside (v3,v6,v5,x,y)
then      if o = 0 then height (v3,v6,v5,x,y)
          else ZETA (v3,v6,v5,x,y,o)
else if p = 0
then      height (v1, v4, v6,x,y)
else      zeta (v1,v4,v6,x,y,p);

END ZETA.
```

1) The search for the correct triangle that represents a point generates no backtracking. At each level of the tree of triangles, we simply go down to the next level through the appropriate son (that son containing the point), until we hit a terminal triangle, where we compute the height by a planar interpolation.

V. CONCLUDING REMARKS

Since a gray level picture can be seen as a surface in three dimensions, z being the gray level value, it is in principle possible to use the models described here to represent them. This could have use for shape comparison of these surfaces, but the authors have not experimented with this. The idea, anyway, is to use models with large ϵ (large error tolerance, coarse representation) to compare two surfaces; if the models are equal (in some appropriate sense, for instance, the quantized z values agree) then we could afford comparison with a smaller ϵ (more accurate representation). In this way the shape similarity between any two 3-dimensional surfaces (or any two gray level pictures) can be ascertained. A related paper [2] develops this idea fully for two-dimensional flat regions (binary pictures). The largest problem with this approach is to find a normalization procedure (the basic rectangle of [3]) that will produce a unique model for the 3-d case: it is easier to compare canonical models.

The method described in this paper is currently being implemented and tested for representation of topographic surfaces formerly described by their contour lines.

Merging of models into a larger model. If four adjacent surfaces a, b, c, d are represented by models $\underline{a}, \underline{b}, \underline{c}, \underline{d}$, the model of the joint surface (a,b,c,d) is formed by creating a new frame $\underline{1}$ (cf. Fig. 5 'Data Structure') which has as non-terminal pointers $M_H, M_N, M_O,$ and $M_P,$ pointers to the frames $\underline{1}$ of $\underline{a}, \underline{b}, \underline{c}$ and \underline{d} .

Significant points vs. correlation points. The significant points (also called surface-specific points: $\Delta(U)$) are those points of the terrain where slope changes in an important way. The points that a correlation routine finds in an easy manner, based for instance in the two pictures of a stereo pair, are called "correlation points:" they are points that are easy to correlate in the pictures, because the gray levels in their neighborhood are quite different from others, hence they can be identified rapidly and unmistakably. But they will not necessarily fall on top of "significant" points.

The components of the model. The model so far described and its construction can be seen as formed by:

- a tessellation of polygons Δ (triangles in this case);
- an accuracy criteria, which tells whether a polygon of the model needs further refinement (in our case, comparison of modelled vs. real heights, cf. Section II § 2 'When' to stop refining');
- a procedure to refine the model (in our model, select a significant point near the middle point of a side);
- a manner to store the model (as exemplified in Fig. 6 'Model Example');
- a way to access the model (as seen in Section IV 'Data Retrieval for Surface Reconstruction');
- a method to reconstruct the surface from the model (this is given by the procedure *height* (a,b,c,x,y) evaluated at the appropriate triangle $a b c$ which contains the point $(x,y,0)$; the appropriate definition of containment is embodied in procedure *inside* (a,b,c,x,y) , which takes into account, for instance, the "flaps" of Fig. 7 'Coplanar Sidewalks').

V.1 Suggestions for further work

1. Refer to Fig. 7 'Coplanar Sidewalks.' Do not use $k_1 = 10\%$ for the width of the sidewalks. Compute instead the maximum distance that $(r_x, r_y, 0)$ can be from r'' for the enlarged triangle $a d \delta$ to meet still the error tolerance ϵ . This has to do with average slopes of the triangles.
2. Refer to § III.1 'Simplified storage for cover of similar triangles.' Fully develop the model that uses the representation of each triangle as a string of pairs of binary digits, v.gr., triangle $g h j = 00 00 01$ (the son H of the son H of the son H of the rectangle).
3. Do not retrieve the triangles from the root of the tree (cf. Section IV 'Data retrieval for surface reconstruction') but store them so as to access them by a double binary search on the coordinates of the vertices $/4/$.

4. Consider the methods of this paper and of [1,2] as similar procedures that address data representation at arbitrary accuracy levels, and use them for shape comparison.

References

1. Bribiesca, E., and Avilés, R. Codificación en cadenas y técnicas de reducción de información para mapas y dibujos lineales. Informe CCAL-74-7, IBM Latin American Scientific Center (Mexico City), Nov. 1974.
2. Bribiesca, E., and Guzmán, A. Shape description and shape similarity measurement for two-dimensional regions. Submitted to Fourth International Joint Conference on Pattern Recognition, Kyoto, Japan, November 1978.
3. Bribiesca, E., and Guzmán, A. Shape numbers: a notation to describe pure form and to measure resemblance and difference in shape. Report PR-73-18, Computer Science Dept., UNAM, National University of Mexico. 1978.
4. Gómez, D. Modelos digitales del terreno de precisión variable. B. S. Thesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de México (in preparation).
5. Gómez, D. Tessellation of triangles of variable precision as an economical representation for DTM's. Proceedings of the Digital Terrain Models Symposium St Louis, Mo. 1978. Available from American Society of Photogrammetry.
6. Guzmán, A. Analysis of curved line drawings using context and global information. In Machine Intelligence VI, (G. Michie and B. Meltzer, eds) University of Edinburgh Press. 1971. Chapter 20.
7. Horn, B. K. P. Shape from shading: a method for obtaining the shape of a smooth opaque object from one view. Ph. D. Thesis, E. E. Dept., M.I.T. 1970. Project MAC Technical Report MAC-TR-79.
8. Jensen, H. H. Collaboration in Physics within the Nordic countries. Europhysics news 7, 5, May 1976, pp 1-4.
9. Klinger, A., and Nikitas, A. Picture decomposition, tree data structures, and identifying directional symmetries as node combinations. Computer Graphics and Image Processing (to appear).
10. Signor, G., and Nadler, M. Une application de la corrélation numérique d'images: la stéréophotogrammétrie automatique. Congres AFCET/IRIA, Reconnaissance des Formes et Traitement des Images. Paris 1978.
11. Peucker, T., Fowler, R. J., Little, J.J., and Mark, D. M. Triangulated irregular networks for representing three-dimensional surfaces. Simon Fraser University, Burnaby, Canada. Technical Report # 10. April 1976.
12. The width of the sidewalk is a constant fraction k_1 (say, 10%) of the corresponding median: $w_{SP} = k_1 \cdot s = r$. To incorporate these sidewalks to the model, it was only necessary to modify the definition of the function inside, so that a point is "inside" triangle $t d s$ if it falls inside it or

at the sidewalk (Refer to fig. 7).

If no significant point r is found near enough r'' so as to meet the 10% requirement, the model orders to find (to fabricate) a new significant point with coordinates x, y closer to r_x'', r_y'' : the model only accepts significant points close enough to r'' (r'' is the midpoint of $(c_x, c_y, 0) \rightarrow (d_x, d_y, 0)$) to ensure that the resultant flaps will not be wider than k_1 . An optimal way (suggestion 1) is needed to compute k_1 .

The sidewalks slightly contradict the assumption (1), uniqueness of representation for a point, of the Introduction. This is of no importance.

13. Refer to (B) of Fig. 5 'Data Structure.' Triangle 1 2 3 is a triangle in space, a 3-dimensional triangle, since each vertex has three coordinates. But we could project triangle 1 2 3 into the x-y plane, by setting $z=0$ at each of its vertices. In this manner we obtain a triangle in the x-y plane, which we call the "two-dimensional" triangle 1 2 3.

Abstract

A description is derived for two-dimensional non-intersecting closed curves that are the boundary of simply connected regions. This description is independent of their size, orientation and position, but it depends on their shape; it is therefore called the shape number of the curve.

Each curve carries with it its own shape number. The order of the shape number indicates the precision with which that number describes the shape of the curve. For a curve, the order of its shape number is the length of the perimeter of a 'discrete shape' (a closed curve formed by vertical and horizontal segments, all of equal length) closely corresponding to the curve.

A procedure is given that deduces, without table look-up, string matching or correlations, the shape number of any order for an arbitrary curve.

In this way, the infinite universe of curves can be decomposed, for any order o , into a finite number of equivalence classes, each one of them having the same shape number of order o . The discrete shapes stand as the canonical representative for each class. The paper contains all the families of discrete shapes for orders 4, 6, 8, 10, 12, 14 and 16.

To find out how close in shapes two curves are, the degree of similarity between them is introduced; dissimilar regions will have it low, while analogous shapes will have a high degree of similarity. Informally speaking, the degree of similarity between the shapes of two curves tells how deep you have to descend into a list of shapes, before being able to differentiate between the shape of those two curves. Again, a procedure is given to compute it, without need for such list or grammatical parsing or least square curve or area fitting.

The degree of similarity maps the universe of curves into a tree or hierarchy of shapes. The distance between the shapes of any two curves, defined as the inverse of their degree of similarity, is found to be an ultradistance over this tree.

The shape number is a description that changes with skewing, anisotropic dilation and mirror images, as the intuitive psychological concept of 'shape' demands. Nevertheless, at the end of the paper a related Theory "B" of shapes is introduced that allows anisotropic changes of scale, thus permitting for instance a rectangle and a square to have the same Bshape.

These definitions and procedures may facilitate a quantitative study of shape.

Key words: curve description; chain encoding; shape code; silouettes; shape numbers; distance between shapes; form similarity; discrete shapes; shape comparison; measure of shape difference; binary picture; image processing.

Acknowledgments

The research herein reported was partially done under the Joint Research Agreement (XI-1976) between CETENAL and UNAM. The work was carried on at IIMAS-UNAM and at CETENAL.

The computer programs were written at the M.I.T. Artificial Intelligence Laboratory (Boston) during a summer visit; we acknowledge the hospitality of Prof. Marvin Minsky.

Some ideas developed during a winter stay at the Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications (Paris), where we thank Prof. C. Gueguen.

CONTENTS

	PAGE
ABSTRACT	1
ACKNOWLEDGMENTS	2
INTRODUCTION	4
The role of shape in Scene Analysis	6
DISCRETE NOTATIONS TO ENCODE LINES AND REGIONS	7
Digital representation of curves	8
THE SHAPE NUMBERS	21
A procedure to find all the shape numbers of a given order	37
How to find the shape number of order n of a region	38
MEASUREMENT OF THE SIMILARITY OF TWO SHAPES	42
Remarks on the degree of similarity	46
Comments on this theory of shapes	51
Problems with this theory of shapes	51
THEORY "B" FOR SHAPE DESCRIPTION AND SHAPE COMPARISON	53
How to find the Bshape number of order n	53
Downwards constructability	54
Upwards existence	54
SUGGESTIONS AND RECOMMENDATIONS FOR FURTHER WORK	56
REFERENCES	63

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

The usefulness of picture analysis. Picture analysis and photointerpretation are very useful tools that provide information of widespread value: creation of maps [N.A. Bryant,] [these brackets indicate references to the bibliography]; estimation of crops [Landgreebe; MacDonald; Guzmán et al 76]; tectonics [Salas]; electrocardiography [González], to mention just a few. It is not surprising, consequently, that computers are increasingly used to aid in this process: water detection [Wright ; Seco]; plaques in blood vessels [Selzer]; digital terrain models [Peucker; Dora Gómez] are a few examples where a computer extracts useful information from a picture.

Color, texture, stereoscopy and shape. Crop detection and land use maps are examples where a computer program [MacDonald ; Guzmán PR-75-2A] uses color as a primary ingredient for identification. The texture of a given zone in a picture (that is, the spatial relation and structure of small regions of peculiar shapes) carries also valuable information; for instance, terrain drainage [Felipe Guerra]; citric trees diseases [Mancillas].

Three dimensional information can be obtained from two or more views of the same scene: assemblies of bodies [Roberts]; tomography [Hernan]; contour lines [D. Gómez].

In this paper, we concentrate on the shape of objects as the main ingredient to extract information that will allow us to interpret the scene. Of course, it is realized that a system that uses several or all of these ingredients will obtain better information [Reddy].

Coloring book drawings. Since we decided to study shape, what images are color-less, texture-less and monoscopic? It has been proposed [Guzmán 71] to analyze line drawings such as those found in coloring books for children (See Figure 'SKATING'), because they are only binary (black and white) scenes.

Although these scenes are hand-made (as opposed to camera-made), they retain the shape information of the objects. Since small children can understand them, we hope that they should not be too difficult for the machine, either!



.FIGURE 'SKATING'

This scene lacks texture, color, gray levels; it has shapes, sizes and structure.

The shape of each region of this scene can be described by a shape number.

Caricatures [Adler] are not used because they contain shape distortions, although we realize that they shine light over the permissible transformations of shape that preserve information used for identification by human beings.

We are not recommending that somebody should work on a preprocessor that will transform gray level pictures into coloring book drawings.

The role of shape in Scene Analysis

A good explanation and understanding can be done of figure 'SKATING', which lacks color, texture, and gray levels and only has shapes with size and structure. [Guzmán 71] has proposed to represent these components into a graph where the nodes contain shape and size information about each region, and the arcs represent structural relations ("near", "surrounded by", etc) among the nodes.

Consequently, it is important to be able to describe in a convenient manner the shape or form of a region (or part, or object), and to compare two shapes in order to ascertain their likeness or dissimilarity:

The quantification of those concepts through numerical procedures yielding repeatable and reliable measures is part of the quantitative study of shape.

DISCRETE NOTATIONS TO ENCODE LINES AND REGIONS

Region (def). A simply connected portion of a plane limited by a curve boundary. That is, no holes, no self-intersecting boundary: Closed boundary. The region is uniquely defined by the curve it has as boundary.

A region has size (length of the perimeter, area of its surface, ...), position (in the plane), orientation (with respect to some coordinate system), as well as "aspect", form or shape.

Our notation will describe regions. It will describe shapes also; that is, in fact, its main use.

Shape (def). A region where its size, position and orientation are disregarded.

Two regions have the same shape if through a similarity transformation (translation, rotation, uniform stretching of both axis) they can coincide exactly.

Note that mirror images do not have in general the same shape. Skewing (to change the angle between the X and Y axis) is also not allowed. Neither is permissible an anisotropic stretching of the axis, i. e. $a \neq b$ in $X' = a x$, $Y' = b y$. We later introduce a theory "B" of shapes where it is permitted to have $a \neq b$; their shapes are called Bshapes.

Scene (def). A collection of regions.

We generally use the same scenes that children use for coloring, like figure 'SKATING.'

Since regions possess position, size, etc., a scene is "rigid" and we can measure in it orientations, relative positions, relations between regions, etc.

Note that open lines are not allowed in a scene. This may be quite a restriction, specially in view of the fact that our notation is able to describe them.

Major axis of a region. The straight line segment connecting the two perimeter points furthest away from each other. Figure 'BASIC RECTANGLE.'

Occasionally, there will be more than one major axis in the region.

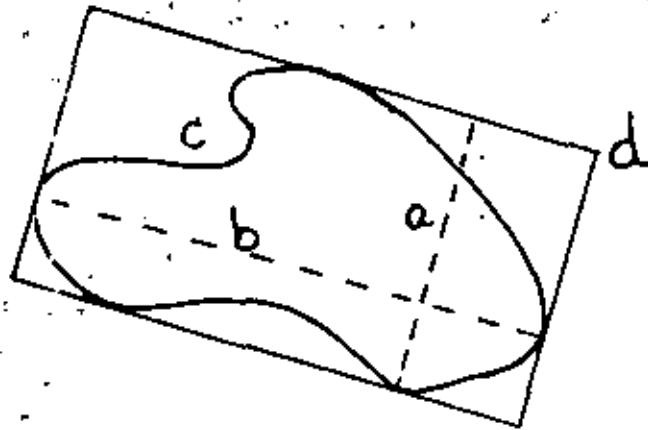


FIGURE 'BASIC RECTANGLE'

- a. Minor axis of (c).
- b. Major axis of (c).
- c. Region.
- d. Basic rectangle of (c).

In that case, select that which gives the shortest minor axis.

Minor axis of a region. A segment perpendicular to the major axis, extending in both sides of the major axis, and of length such that the box formed by these two axis just encloses the region. Figure 'BASIC RECTANGLE.'

Basic rectangle of a region. It is the rectangle having its sides parallel to and of sizes equal to the major and minor axis, such that it just encloses the region.

Other axis and other manners to find boxes enclosing a region are given in [Freeman and Shapira] and in [Guzmán 71], pp 338-342.

Excentricity of a rectangle. It is the ratio of the long to the short side. e is greater than or equal to one.

Excentricity of a region. It is the excentricity of its basic rectangle.

It is the ratio of its major to minor axis. This definition coincides with that for an ellipse.

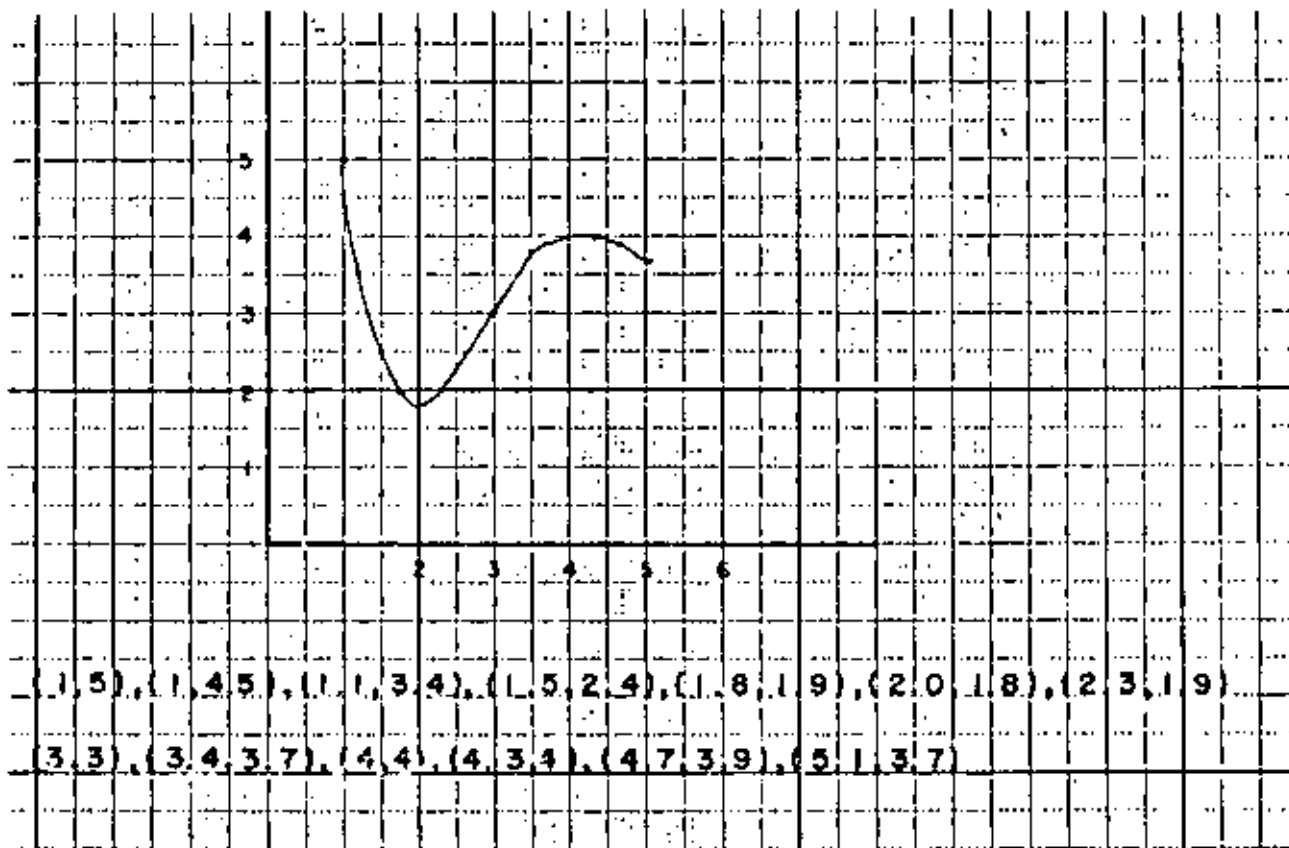
Digital representation of curves

We now study several ways to represent figures. To keep memory finite, we sample or discretize the curve in some manner. This allows a digital (finite

size, finite memory) representation, but usually from such representation the original curve can be recovered only approximately, due to the quantization error (pixel size).

There is no "best representation" in general. Each one is more suitable than others for certain purposes. We are looking for representations useful to compare shapes: are these two figures of the same shape? Is A closer in shape to B, or to C?

X,Y representation. This is one of the simplest representations. We select arbitrary points (many and close together, if we want good accuracy) on the curve, and we write down the X,Y coordinates of each of them, as we travel along it.



Coordinates of the points: (1.0, 5.0), (1.0, 4.5), (1.1, 3.4), (1.5, 2.4), (1.8, 1.9), (2.0, 1.8), (2.3, 1.9), (3.0, 3.0), (3.4, 3.7), (4.0, 4.0), (4.0, 3.4), (4.7, 3.9), (5.1, 3.7).

X,Y representation of the curve:

1050104511341524181920182319303034374040403447395137

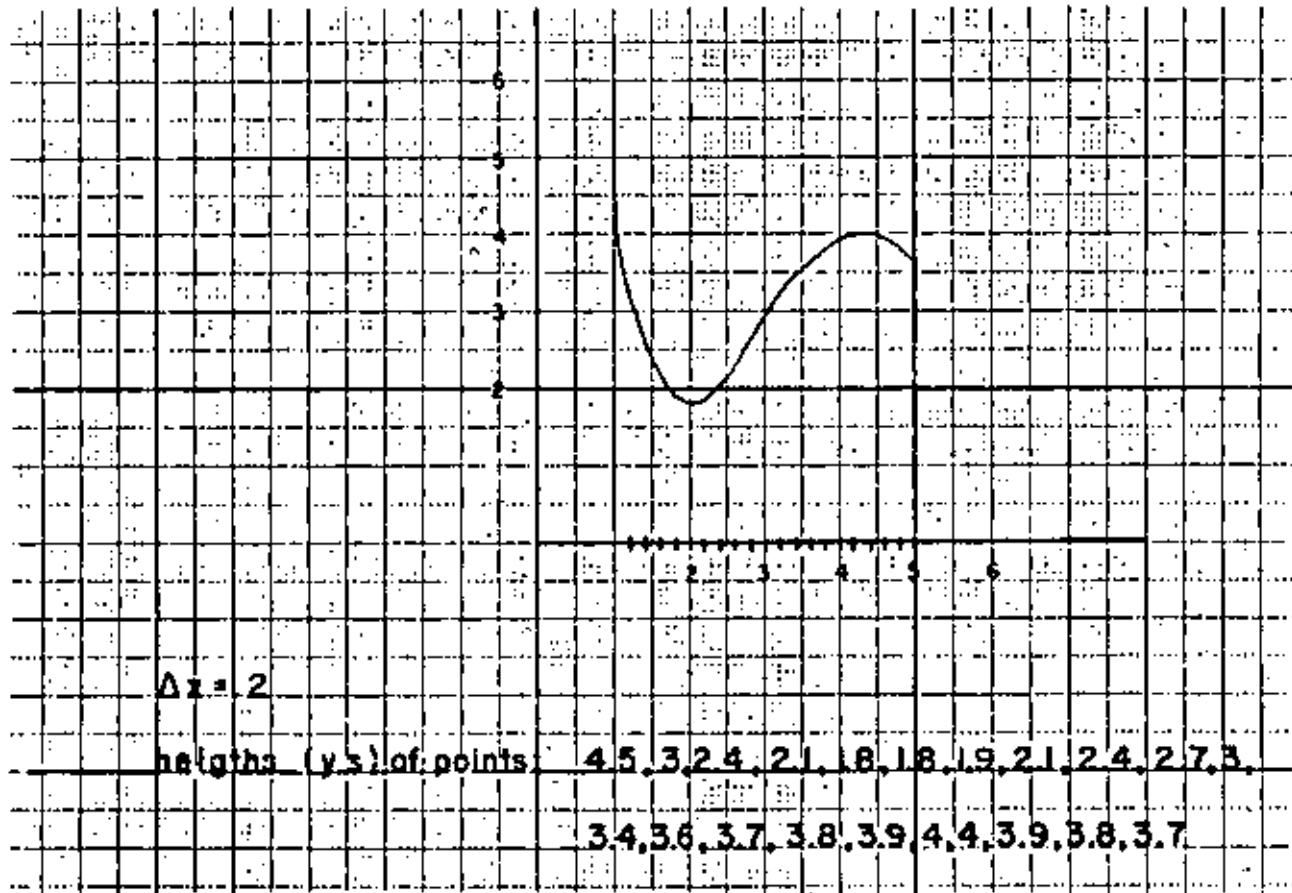
Advantages of this representation: easy to obtain, easy to reconstruct.
 Disadvantages: difficult to compare shape. Uneven signal to noise ratio.
 Curves not uniquely coded: difficult to compare whether representation a and representation b represent indeed the same curve.

There are many variants to this representation. We show a few.

Select an uniform Δx . In this case, we begin the representation with the value of Δx , which can also be omitted, if it is fixed and known for all our figures.

Advantage: No need to write the x coordinate values.

Most digital recording instruments sample at fixed time intervals, and therefore use this method, where x is the time.



$\Delta x = 0.2$

Heights (Y's) of points: 4.5, 3.0, 2.4, 2.1, 1.8, 1.8, 1.9, 2.1, 2.4, 2.7, 3.0, 3.4, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 4.4, 3.9, 3.8, 3.7.

Representation of the curve:

4530242118181921242730343637383944393837.

Always place the origin (0,0) at the first point. This uses less bits if the values of the coordinates are large (if the origin was far away).

Use Δy instead of y . Above, instead of writing down the values of (x,y) , or of y only if Δx is fixed, write down the first value of y , and after it, only increments and decrements of y . This method saves bits if the values of y are large.

The method, in conjunction with an uniform Δx , is called delta modulation. See below.

Example: height (y) of first point: 4.5

Increments of successive points with respect to the previous point (that closest to its left):

-1.5, -0.6, -0.3, -0.3, 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.3, 0.3, 0.4,
0.2, 0.1, 0.1, 0.1, 0.5, -0.5, -0.1, -0.1.

Representation of the curve:

-15-06-03-03+00+01+02+03+03+03+04+02+01+01+01+05-05-01-01

Since there will be positive and negative numbers, the signs + and - are necessary. They add an extra bit to every coordinate.

Use $\text{sgn}(\Delta y)$ instead of Δy . For slowly varying signals; transmit (encode) +1 if the signal is going up, -1 otherwise. Optional: transmit 0 if it has remained approximately constant. This is delta modulation [Steel].

Disadvantage: the representation slowly "catches up" with fast varying parts.

Delta modulation using two or more bits. Transmit as follows:

00 if the signal is going up

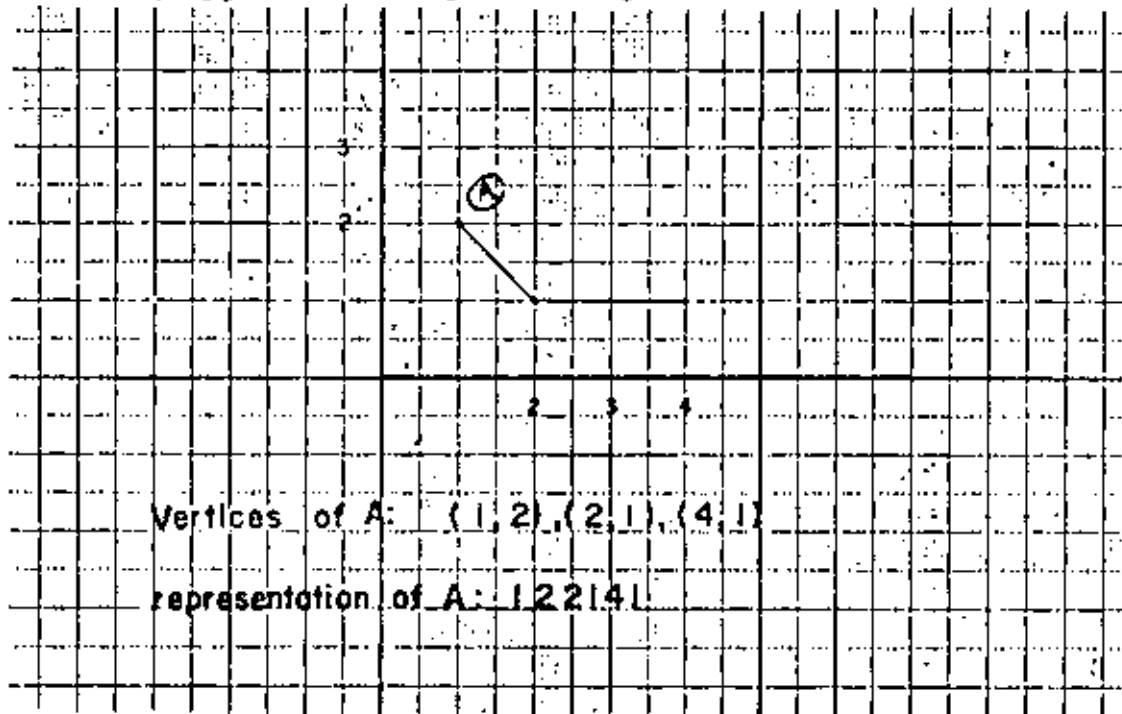
01 if the signal has remained at the same level

10 if the signal is going down slowly.

11 if the signal is going down fast.

You could use more bits, for more accuracy; also, the exact meaning of "signal is going down slowly" has to be given.

Do not use uniformly distributed points. Place them at the vertices. This is useful for polygons and straight line figures.



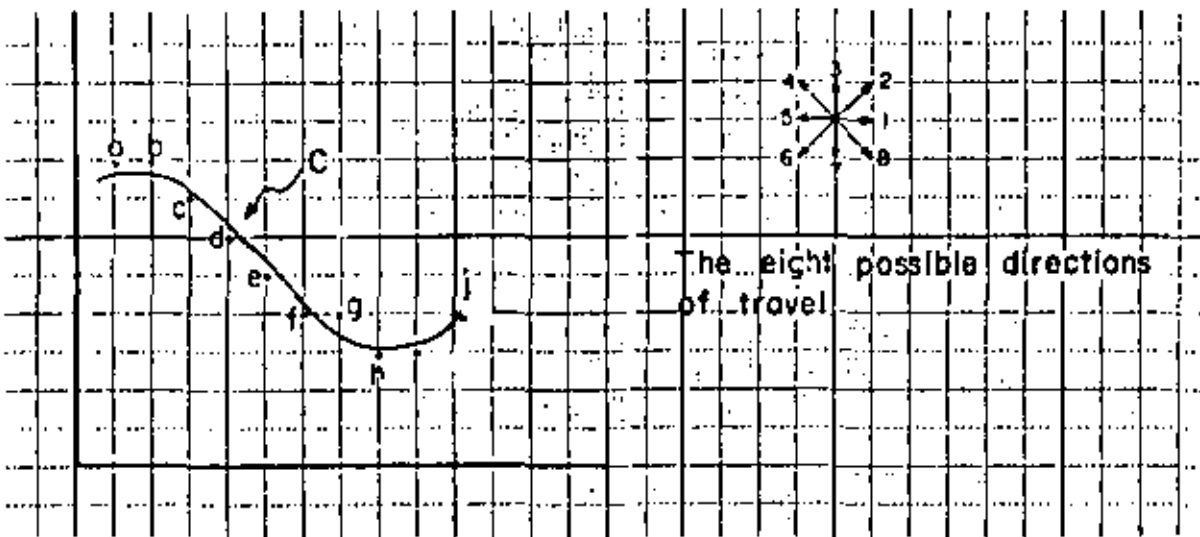
Vertices of A: (1,2), (2,1), (4,1).
Representation of A: 1 2 2 1 4 1

Concentrate the points at places where curvature is high. This method has the advantage of keeping the error more constant [O'Callaghan]. Also, there is psychological evidence [Attneave] that people use it; see Figure 'SLEEPING CAT.'

The method can become quite elaborate and useful; as when [Gómez] describes three-dimensional surfaces through specialized points, giving as a result a surface model (digital model of the surface or terrain) which recursively guides the procedure that finds points on the surface for inclusion of them into the model. The model guides the construction of itself. The advantages are few points on the model and a signal to noise ratio nearly constant over the 3-d surface.

Most optical scanners use this method, but instead of a binary picture they may give a matrix with gray level values at each pixel (each cell).

Freeman chains. On top of the curve place a grid. At each crossing of the curve with a line of the grid, choose the closest node of the grid. This defines a set of grid points near the curve in question. Now begin travelling these points from the first (that corresponding to the beginning of the curve) to the last, taking note of the directions (one of eight possible) of movement (Freeman).



C is the curve, and a, b, ..., j the points of the grid closest to it.

We start at a. To go from a to b, you move in the direction $\rightarrow 1$. To go from b to c, you move in the direction $\searrow 8$, and so on.

The Freeman chain is 1 8 8 8 8 1 8 1 2.

Other figures and their Freeman chains are given in the next page.

Going from Freeman chains to (x, y) representation. Begin at an arbitrary origin. Add to it the amounts shown in the table 'Going from Freeman chains to (x,y) representation.'

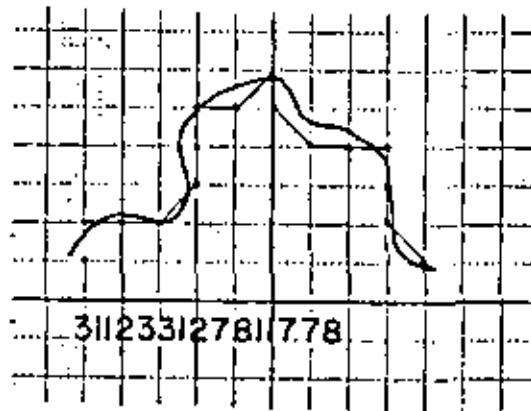
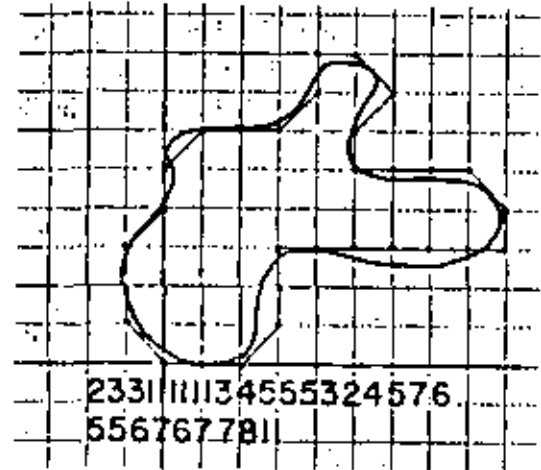
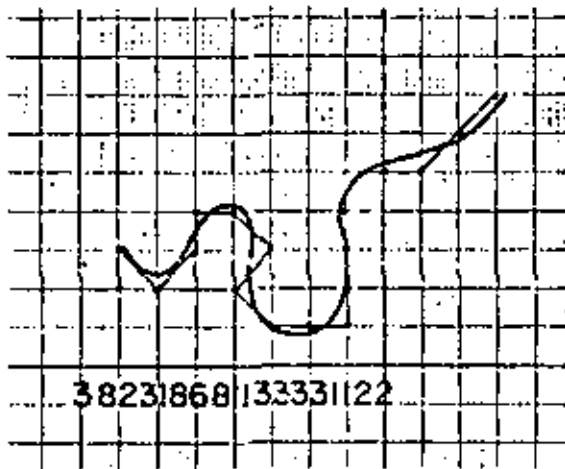


FIGURE 'FREEMAN CHAIN OF CURVES'

Going from (x,y) representation to Freeman chains. Begin with the points in the grid (at the nodes of the grid) closest to the curve in question. Follow the table 'Going from (x,y) representation to Freeman chains.' An example is also given in that table.

How to change accuracy in Freeman chains. Just change the size of the grid, and recompute the directions accordingly. Observe the examples given in the table 'How to change accuracy in Freeman chains.'

[Bribiesca and Avilés] have developed methods to change representation, accuracy and other things for lines encoded by chains.

Going From Freeman chains to (x,y) representation.

Table

chain's direction	Δx	Δy
1	1	0
2	1	1
3	0	1
4	-1	1
5	-1	0
6	-1	-1
7	0	-1
8	1	-1



1 1 2 3 2 1 3 4 6 5 5 4 6 6 7 8 8

Using the table.

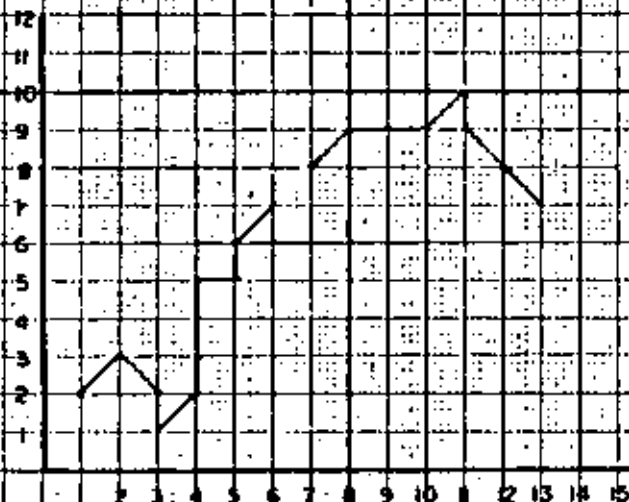
(0,0) (1,0) (2,0) (3,1) (3,2) (4,3) (5,3) (5,4) (4,5) (3,4)

(2,4) (1,4) (0,5) (1,4) (2,3) (2,2) (1,1) (0,0)

Going from (x,y) representation to freeman chain

Table

Δx	Δy	chain's direction
1	0	1
1	1	2
0	1	3
-1	1	4
-1	0	5
-1	-1	6
0	-1	7
1	-1	8

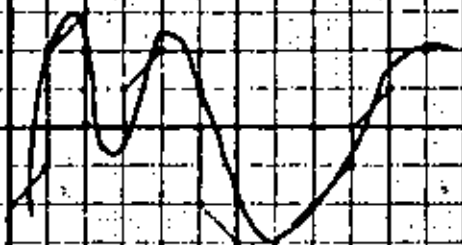


(1,2) (2,3) (3,2) (3,1) (4,2) (4,3) (4,4) (4,5) (5,5) (5,6) (6,7) (6,8)
 (7,8) (8,9) (9,9) (10,9) (11,10) (11,9) (12,8) (13,7)

Using the Table

2 8 7 2 3 3 3 1 3 2 3 1 2 1 1 2 7 8 8

How to change accuracy in freeman chins.



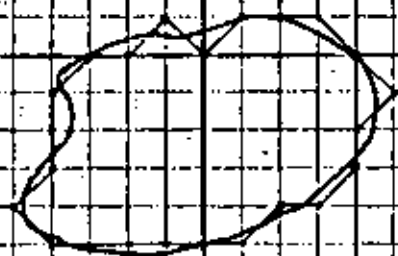
2333277732177778
223231



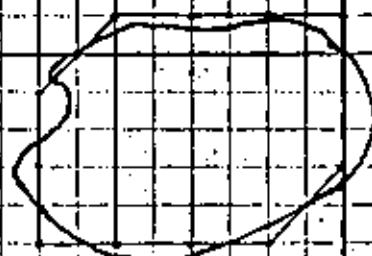
33171387123



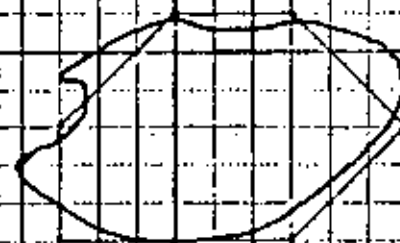
3183



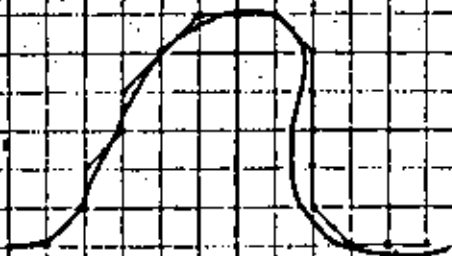
1111212324455646567768



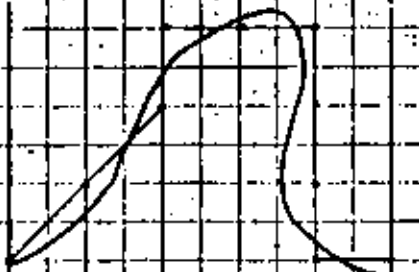
11233555677



124567



2323221187777811

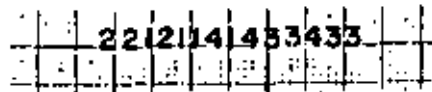


223117771



2287

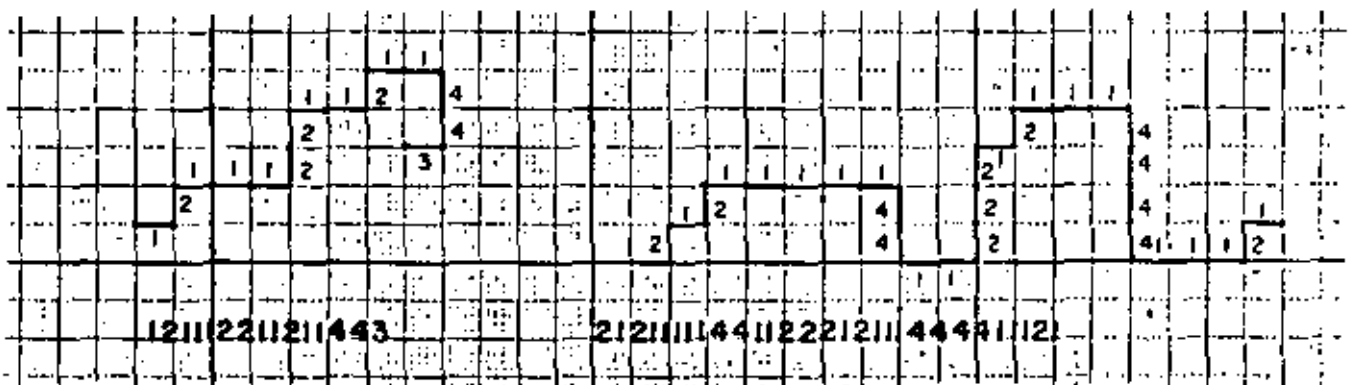
Freeman chains in four directions. Use four instead of eight directions:


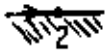



Note that the directions d and d' are represented by 1 2 or 4 1. Select one or the other after seeing whether the corresponding square (of the grid) contains more than or less than 50 % of the area of the region that the curve encloses (for closed curves).

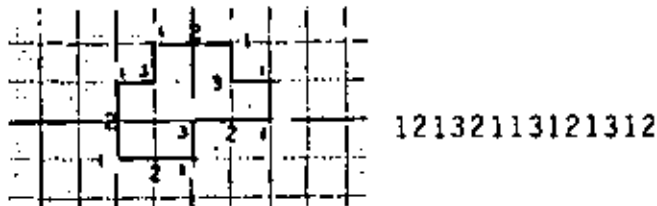
For closed curves, an alternative definition for Freeman chains in four direction is "the curve obtained by walking clockwise on the "wires" of the grid around and outside the squares that contain more than 50 per cent of the region." This definition gives slightly different results from the former, because one is based in squares filled more than half; the other sees the nodes of the grid that come closest to the curve.

In this paper the "50 %" definition will be used for closed curves. This could be slower (because it measures areas) than the other definition, which frequently finds the node of the grid closest to a given segment of the curve by truncation of coordinate values. Some examples are:

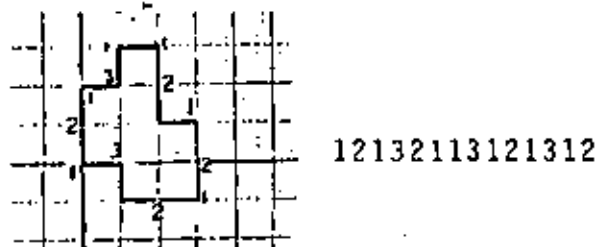


Derivative of a Freeman chain. The idea is to refer the direction of the next link (in the chain) to the direction of the current link. We use four directions. Thus, to bend 90 degrees to the left (keeping the region to the right) is coded as 3:  3 To go straight is a 2: 
 To turn 90 degrees to the right is coded as 1: 

Notice that the bents (turns, changes of direction) or their absence are coded at each grill point. This makes the coding to lose (that is, not to encode) the orientation of the figure. When we write the chain, we are travelling clockwise on the boundary, having the region to our right. Let us see the figure of the previous page, encoded now in Derivative of Freeman chain:

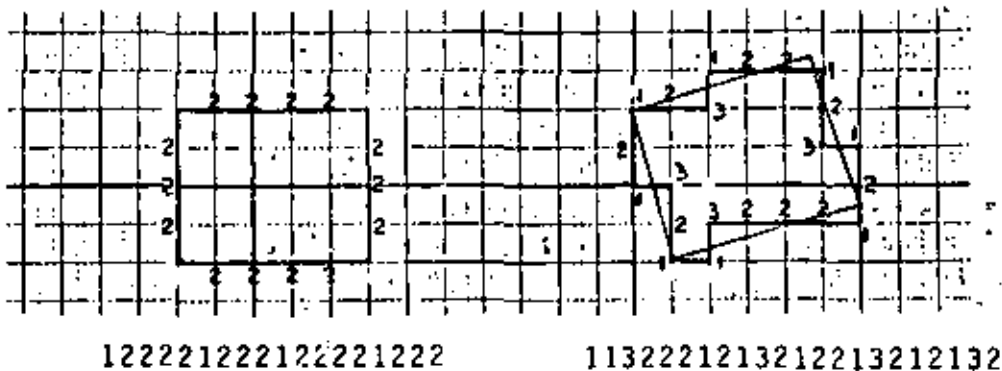


and if the figure is rotated 90 degrees, the coding is still the same:



That is, the coding does not preserve orientation.

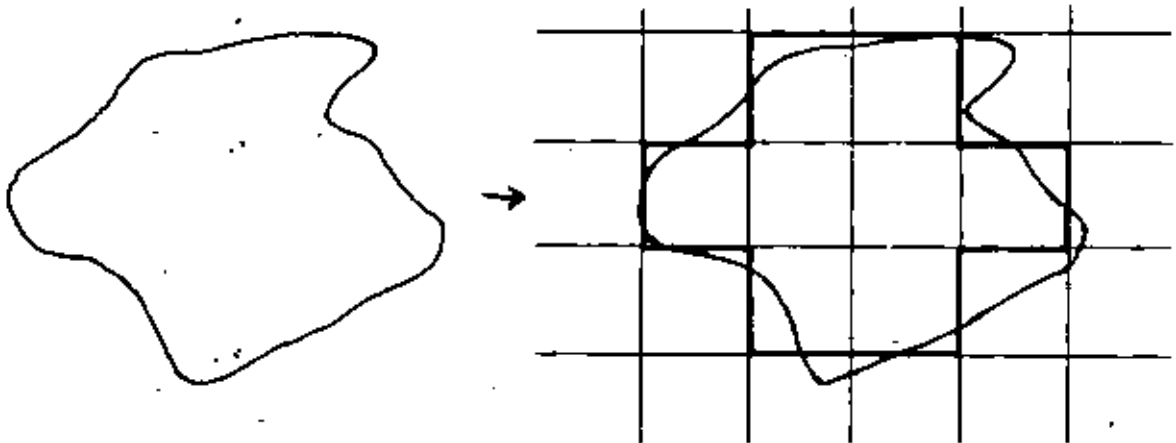
This code is not quite invariant with respect to rotations, because of the distortions arising when we rotate digital pictures. Observe:



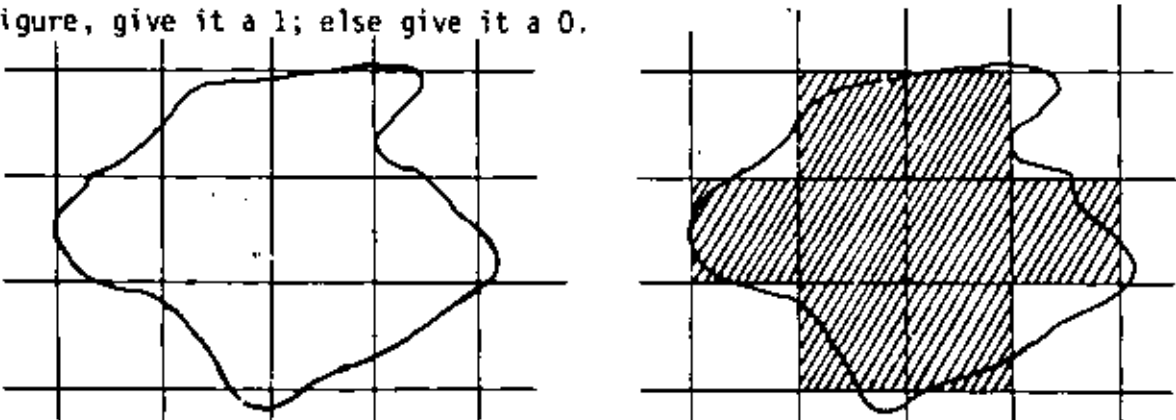
THE SHAPE NUMBERS

We finally arrive to our proposed description of the shape of shapes and regions. The procedure to find the shape number of a region is as follows:

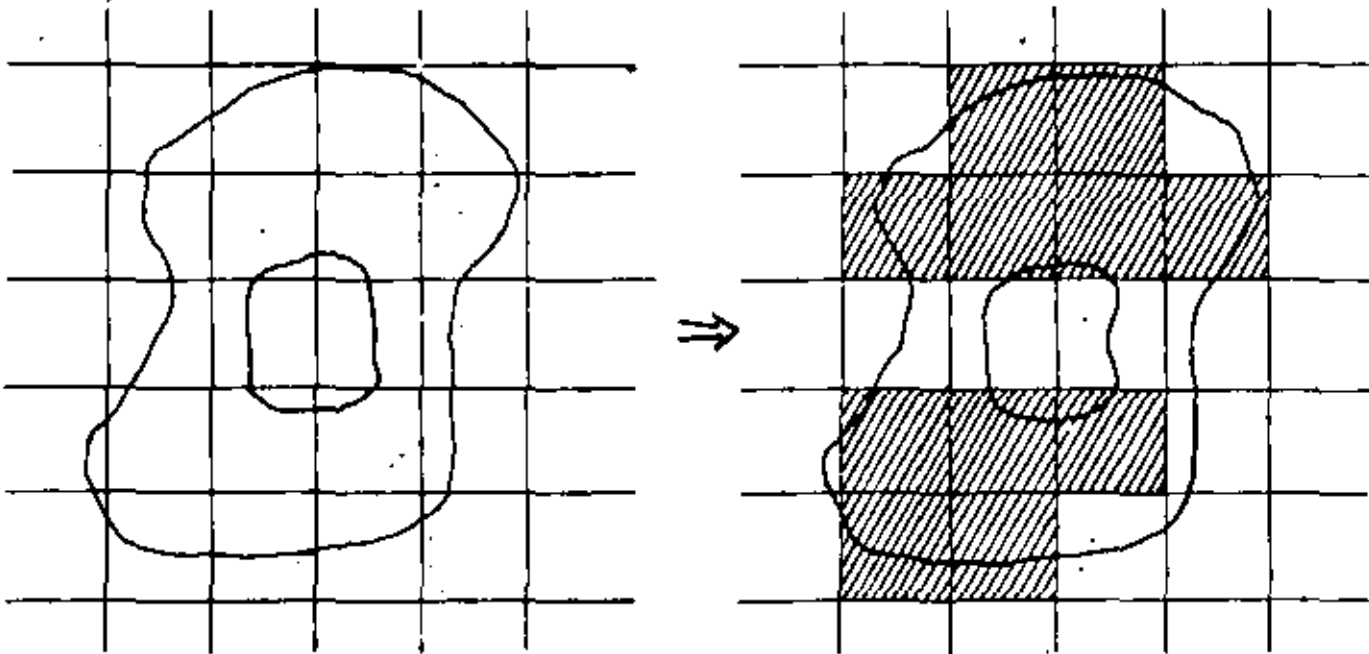
1. A grid of arbitrary cell size is overlaid on top of the region. If a cell of the grid is completely inside the figure, it becomes marked with



a 1 (black); if it falls completely outside the figure, it receives a 0 (white). To generalize this, if more than 50 % of a cell falls inside the figure, give it a 1; else give it a 0.



If the figure has holes, it is probable that none of the squares of a row or column reach a 1, in which case we obtain a blank row (or column) that divides the figure in two:

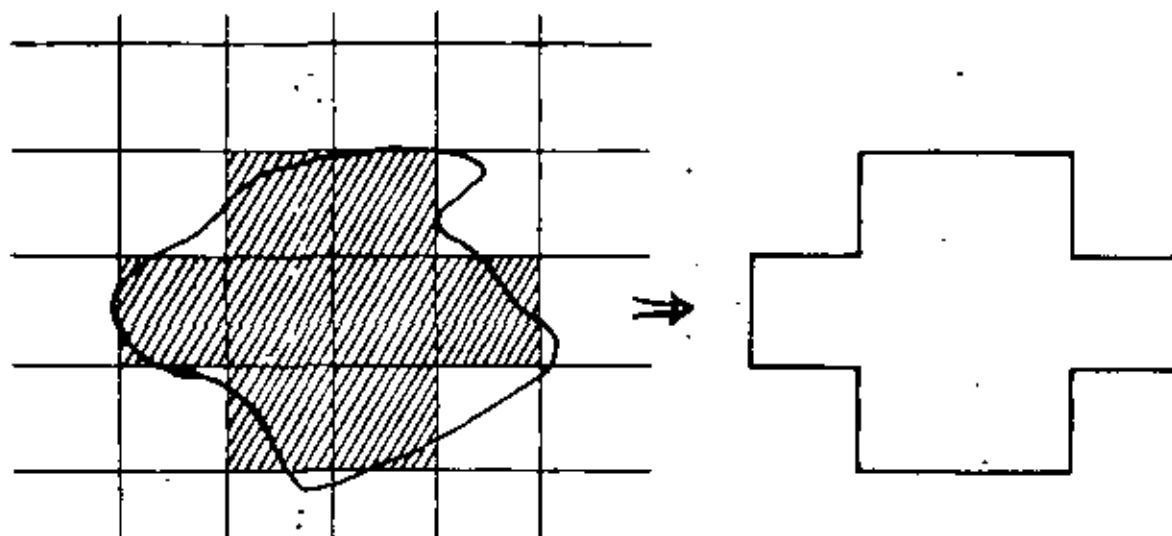


In these cases, we lower the acceptance level (for instance, 35% instead of 50% of a square inside the region will produce a 1). (A better way is to declare that the shape number does not exist; see this later, specially with respect to Theory "B" of shapes). But this test for a blank row or column, which the program performs now, needs to be generalized to the test for disjoint regions:

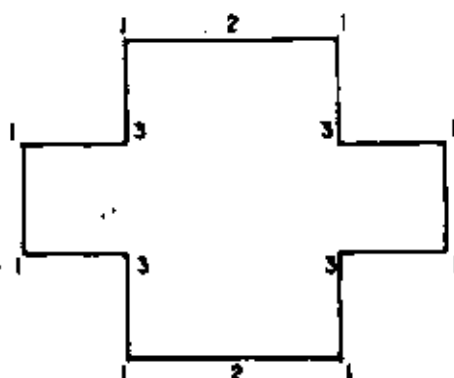


Figure B is disjoint, but none of its columns or rows is completely blank (0's alone). This problem is solved later, cf. § 'Reasonable shape' and Fig. 'Holes and degenerate shapes'.

Now, the boundary of such new black region is the chain sought after:



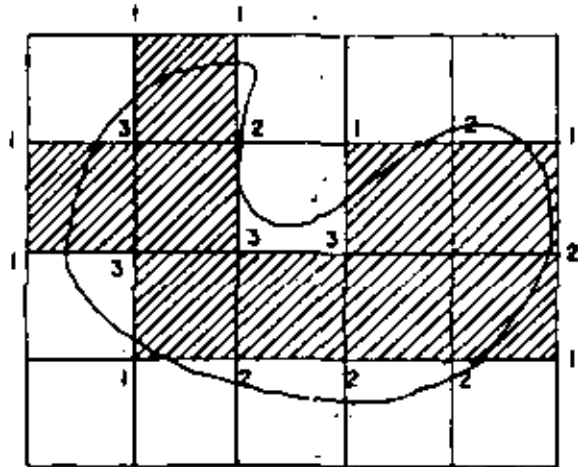
2. We denote this chain by its derivative notation (q.v.). The result is:



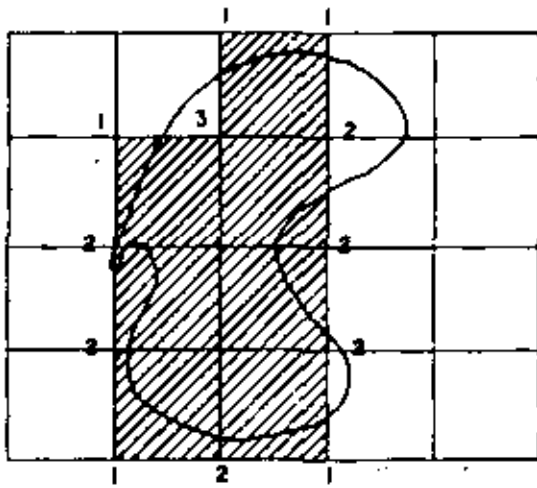
We have to collect these numbers travelling clockwise ↻ .

Observe that there are several strings of digits 1, 2 and 3 corresponding to the above chain, depending on the starting point:

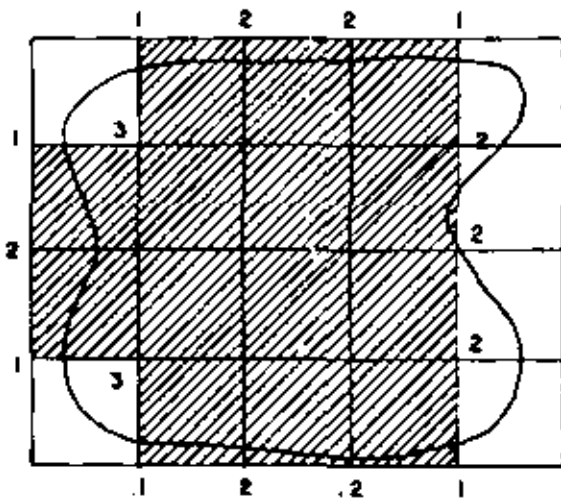
- 12131131213113 (A)
- 21311312131131 (B)
- 13113121311312 (C)
- 31131213113121 (D)
- 11312131131213 (E)
- 13121311312131 (F)
- 31213113121311 (G)
- 12131131213113 (H)
- 21311312131131 (I)
- 13113121311312 (J)
- 31131213113121 (K)
- 11312131131213 (L)



112331212122213113



112221212213



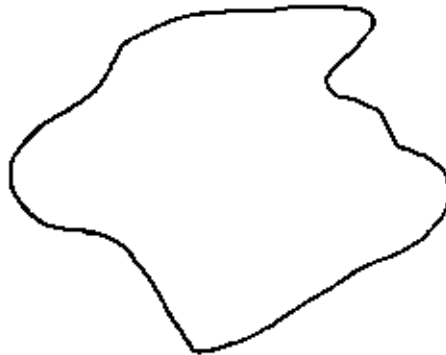
1213122122212213

TABLE 'EXAMPLES OF SHAPE NUMBERS'

13121311312131 (M)
31213113121311 (N)

Observe also that one of them is a minimum, when regarded as a number in base 3. (E) in the above example.

3. Select the chain that is minimum as the chain that represents the region. In the example, we conclude that the shape number of



is 1 1 3 1 2 1 3 1 1 3 1 2 1 3.

Observe that the minimum chain always starts with a 1, since in every closed curve there are at least four 1's (four salient corners) [Perceptrons: Minsky and Papert].

Other examples are found in the table 'EXAMPLES OF SHAPE NUMBERS.'

What size of grid? What orientation of such grid? Unless we give a procedure that normalizes these questions and provides unique answers, we will end up with a region having several shape numbers: see figure 'SEVERAL SHAPE NUMBERS' below.

The posture we adopt is that we will normalize (give a unique value for) the orientation of the grid, but its size (of the grid) will be a parameter that will allow us to vary the shape number of a region, to have less or more precision, as desired. Nevertheless, although the size of the cell of the grid varies according to the precision, the number of segments of the grid (sides of each cell) into which the region will be mapped is no longer at user's will, but it is dictated by the precision he specifies.

The orientation of the grid is not arbitrary, but it is made to coincide with the major axis of the region. The reason is clear: we want each region

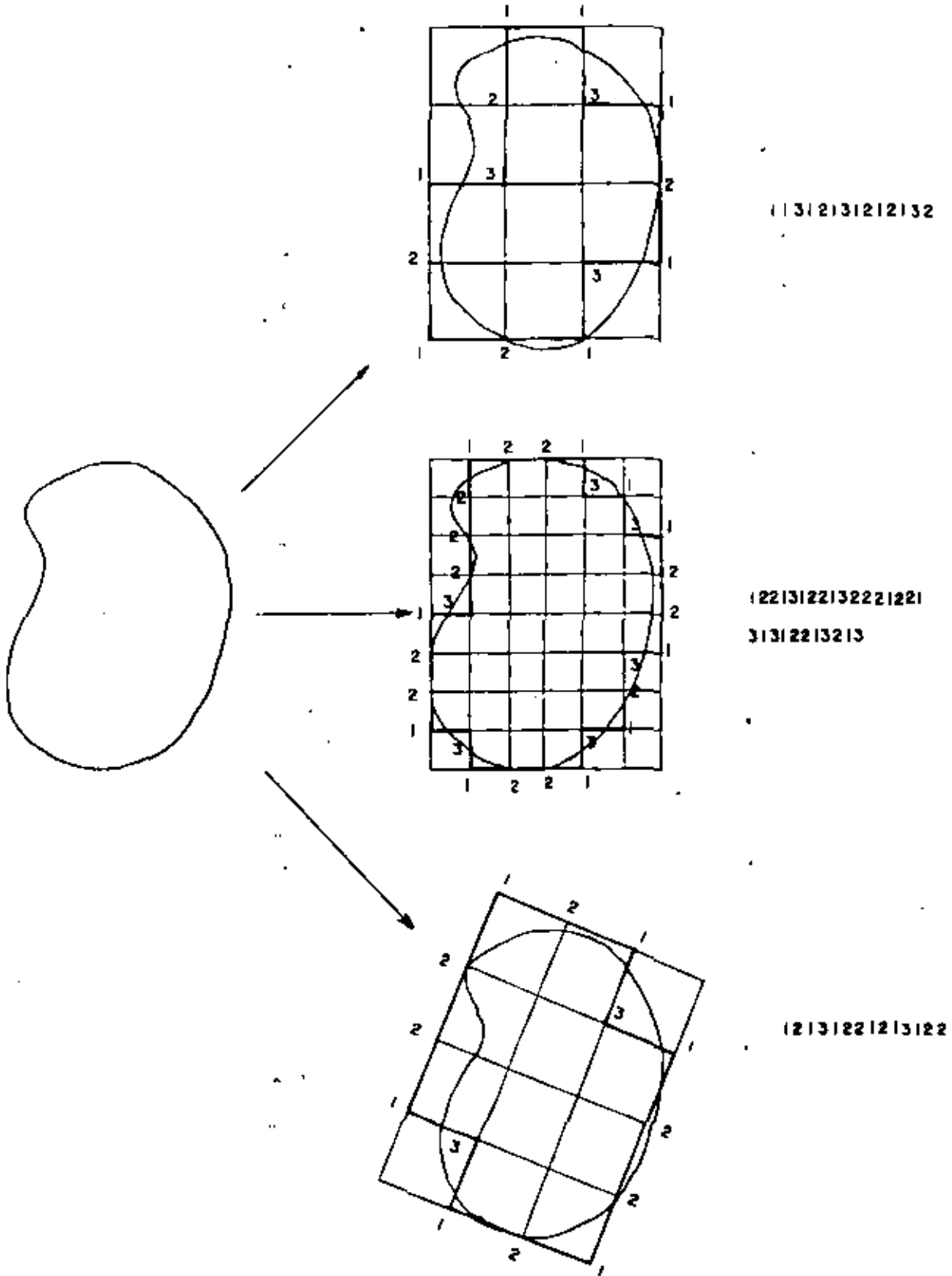
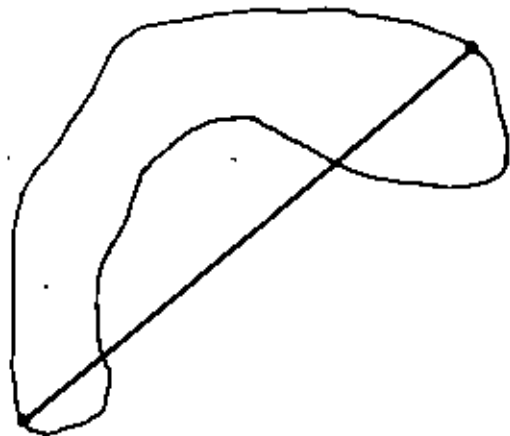
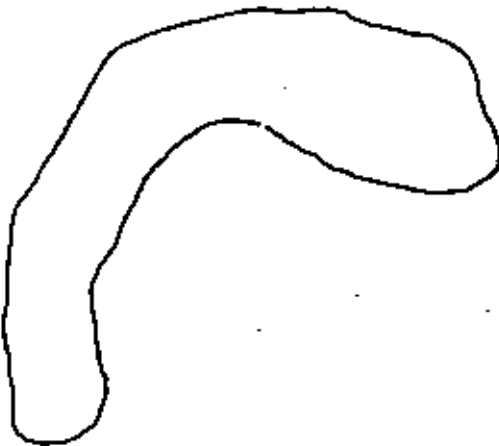
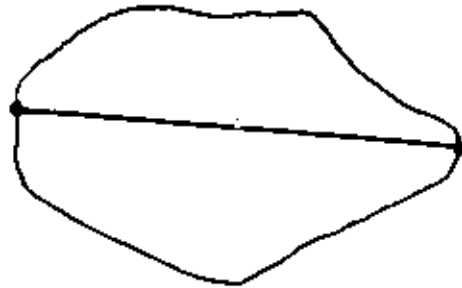


FIGURE 'SEVERAL SHAPE NUMBERS'

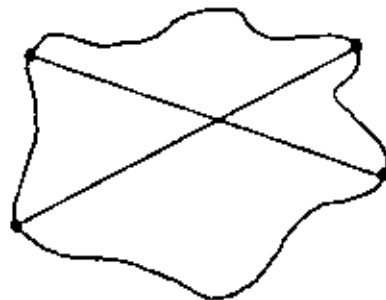
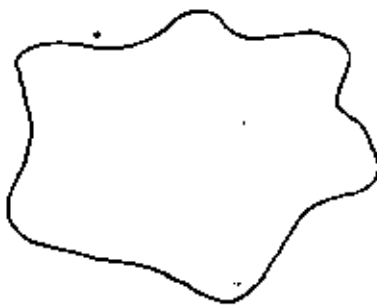
A region may give rise to several numbers that describe it. A canonical procedure is needed to avoid this. See text.

to carry along with it its own direction of the grid. In this manner, if you rotate the region, the grid rotates the same amount and a code is obtained invariant under rotations.

Procedure to achieve a unique orientation. First the major axis of the region is found. Example:

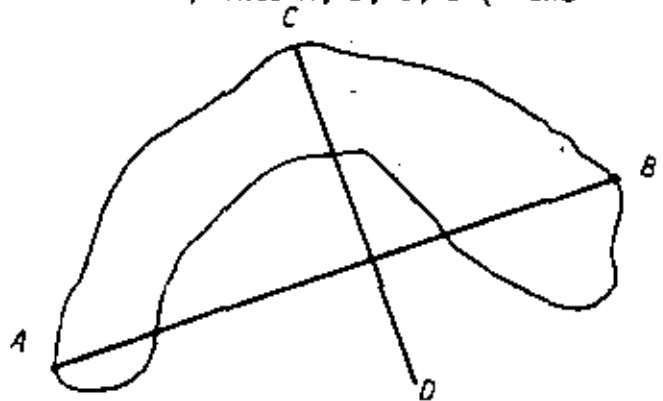
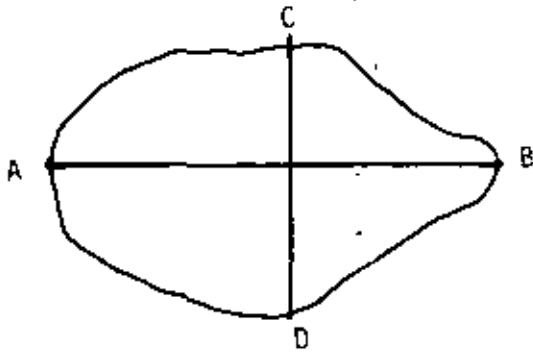


To do this, find the two points on the perimeter that are furthest apart. Occasionally a region has two major axis:

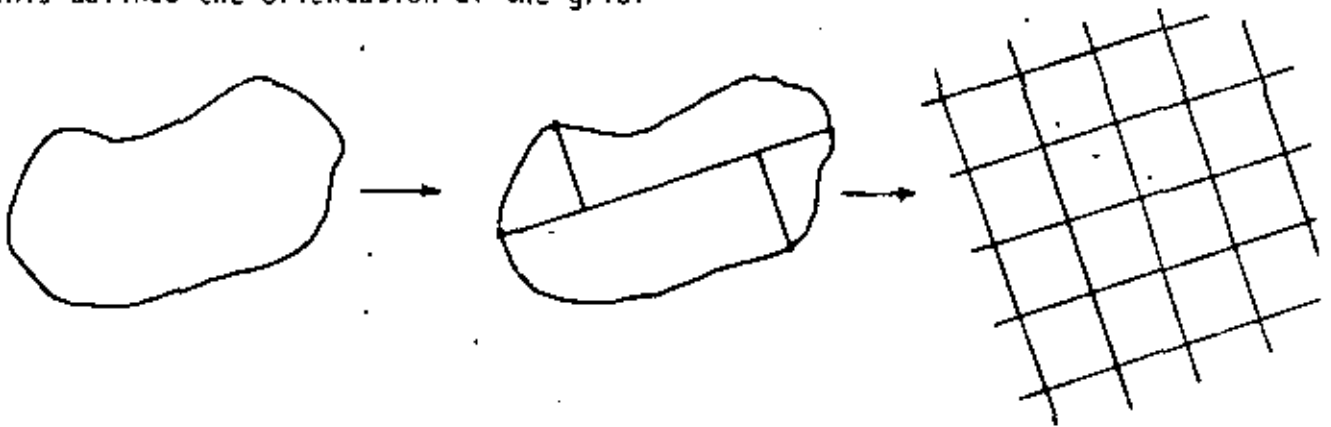


When this is the case, select one of them, according to certain criteria; for instance, that which produces the shortest minor axis.

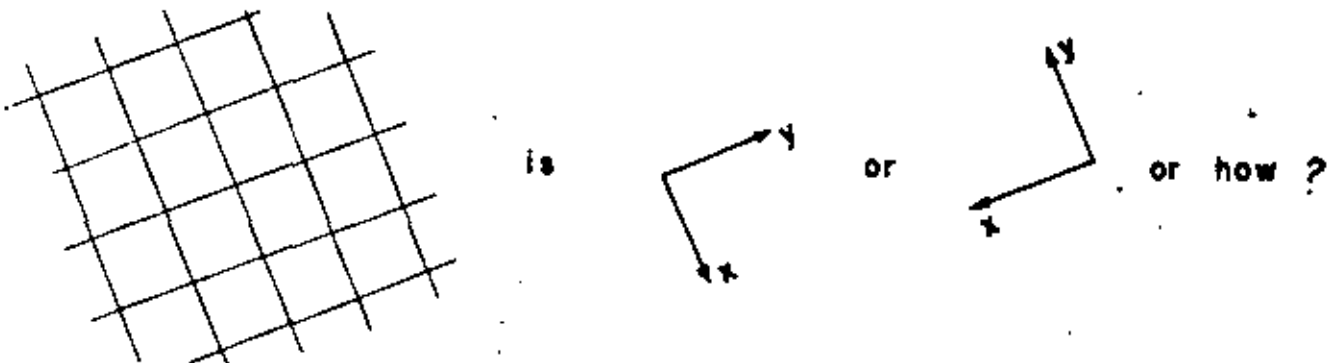
Second, the minor axis is found. This defines points A, B, C, D (A and



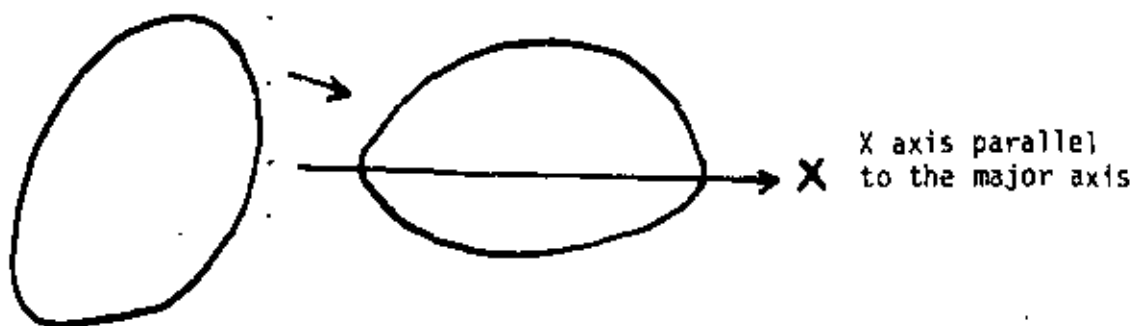
B are the extrema of the major axis; C and D are so for the minor axis) through which a rectangle (the basic rectangle of the region) can be drawn. This defines the orientation of the grid.



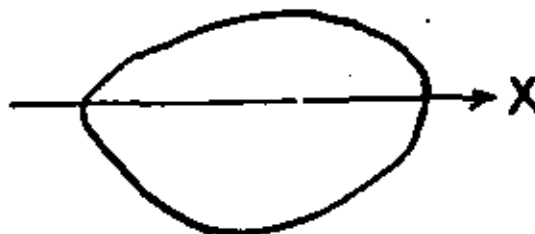
But now, what directions (senses) do we give to the grid? I. e.,



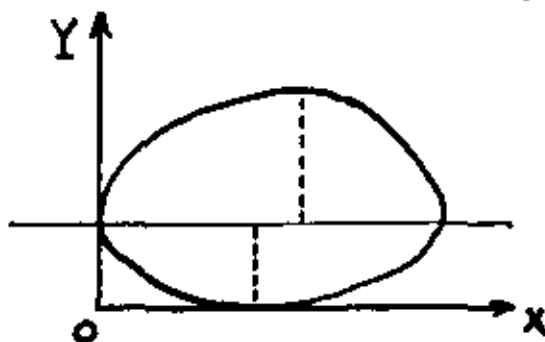
The rule we follow is to keep the major axis parallel to the X axis (horizontal) and as low as possible:



and not

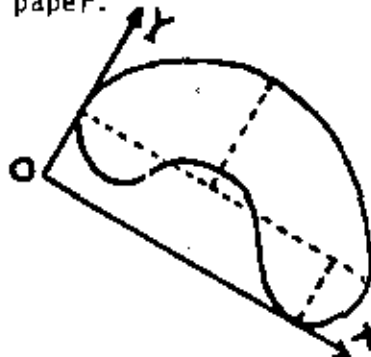


and therefore the Y axis is perpendicular to the X axis, and the Y axis goes positive (Y increases) in the direction of the longer segment of the minor axis (this axis is divided in two segments by the major axis):



The axis X, Y are placed such that the vector product (cross product) $X \otimes Y$ points toward the reader, away from the paper.

The origin is placed at O; the lower left corner of the rectangle that encloses the curve.



To summarize, the rectangle that encloses the region has its longest side (X) parallel to the major axis. The shortest side of the rectangle is parallel to the Y axis, and Y increases away from the major axis and in the side (of the major axis) where the longer of the two

pieces of the minor axis lies.

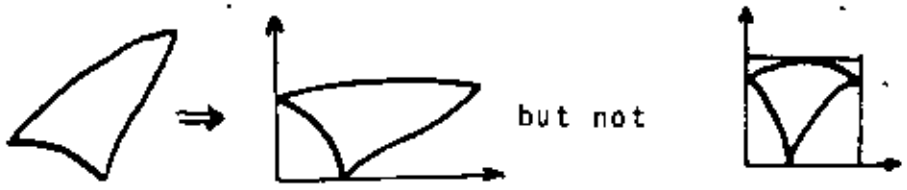
We have just found the basic rectangle (see definition) of the region. Notice that



because the mirror image of a region does not have the same shape as the original region (cf. definition).

It is convenient to make the X axis (major axis) horizontal and X increase to the right; Y is vertical and increases upwards, then. This is accomplished by a rotation of the figure in its plane, without need to flip it outside of its plane --no mirror images.--

We do not normalize X and Y such that the rectangle becomes a square; this transformation changes the shape of a region. Thus,



Excentricity. According to the definition of excentricity, we give several examples.

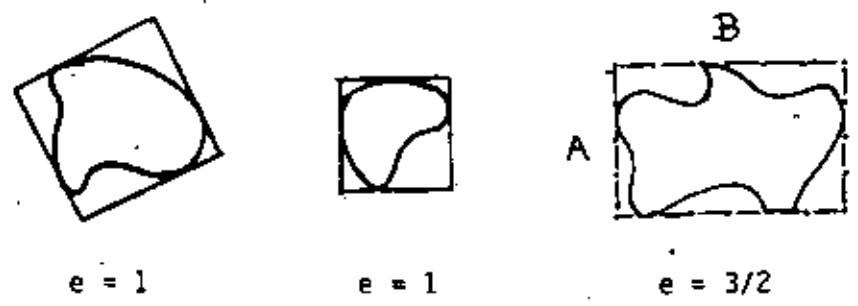
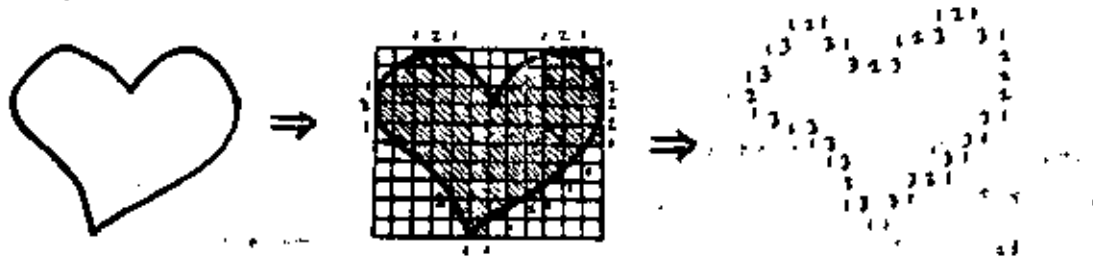


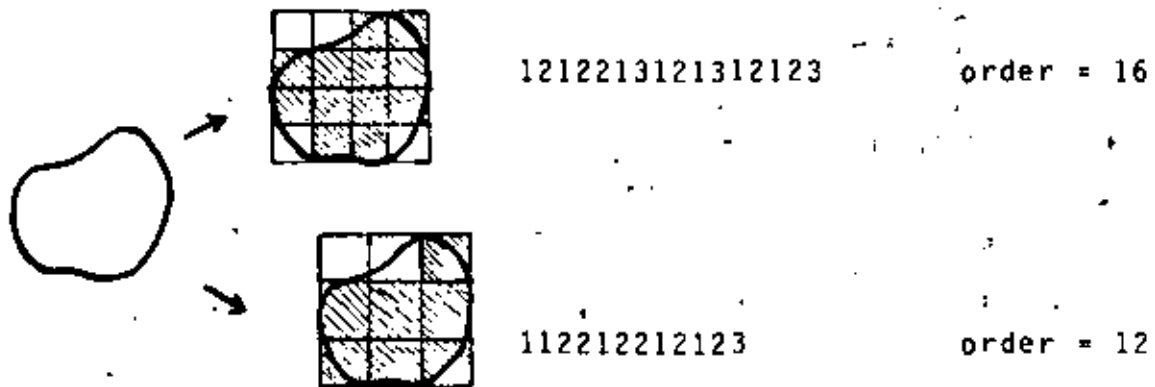
FIGURE 'EXCENTRICITIES'

Procedure to achieve a unique shape number. Given the basic rectangle with the region inside, we could then place a grid of a given (fixed) size, v. gr., 12 by 20 cells, on top of the rectangle, in order to extract the unique shape number of the region:



Nevertheless, we do not adopt this method. Instead, we allow the user to tell us how many digits he wants his shape number to contain. That is known as the order of the shape number.

The order of the shape number. (def) It is the number of ternary digits that the shape number contains. Example:



The order is always even, because the boundary is closed.

It is clear that the same shape gives rise to several shape numbers. But, given n , the shape number of order n of that shape is unique.

Shortly a procedure will be shown to find the shape number of order n of a region, for a given n . Before that, however, we present the families of discrete closed shapes of several orders.

All the shapes of order 4. These are all the regions that we can form with four sticks of the same size, provided we can place them only collinearly or at 90 degrees with respect to each other.

There is only one closed shape of order 4, the square:

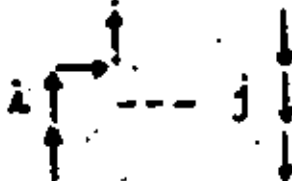


This is the most primitive or fundamental shape. Imagine you are looking at things very far away; you can not really differentiate much. All objects would look round (square, in this paper) and equal.

All the shapes of order 5. No shape number of odd order represents a closed figure. For a closed figure,

number of corners = number of sticks = order of figure.

But all closed figures have in front of a stick i going upwards, somewhere else (to its right, to the right of i) a corresponding stick j going



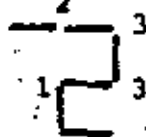
downwards. And similarly for horizontal sticks. They come in pairs.

Therefore, the shape number is even for a closed curve. That is, for regions.

We may open the door to open curves (open shapes?) if we say

order of figure = number of corners; not necessarily equal to number of sticks.

In this case, figure 1 1 3 3 2 (order 5) is



with six sticks

This paper does not deal with open figures:

Not all ternary numbers with even number of digits are shape numbers.

Most of them do not close.

All the shapes of order 6.



1 1 2 1 1 2

All the shapes of order 8.



1 2 1 2 1 2 1 2



1 2 2 1 1 2 2

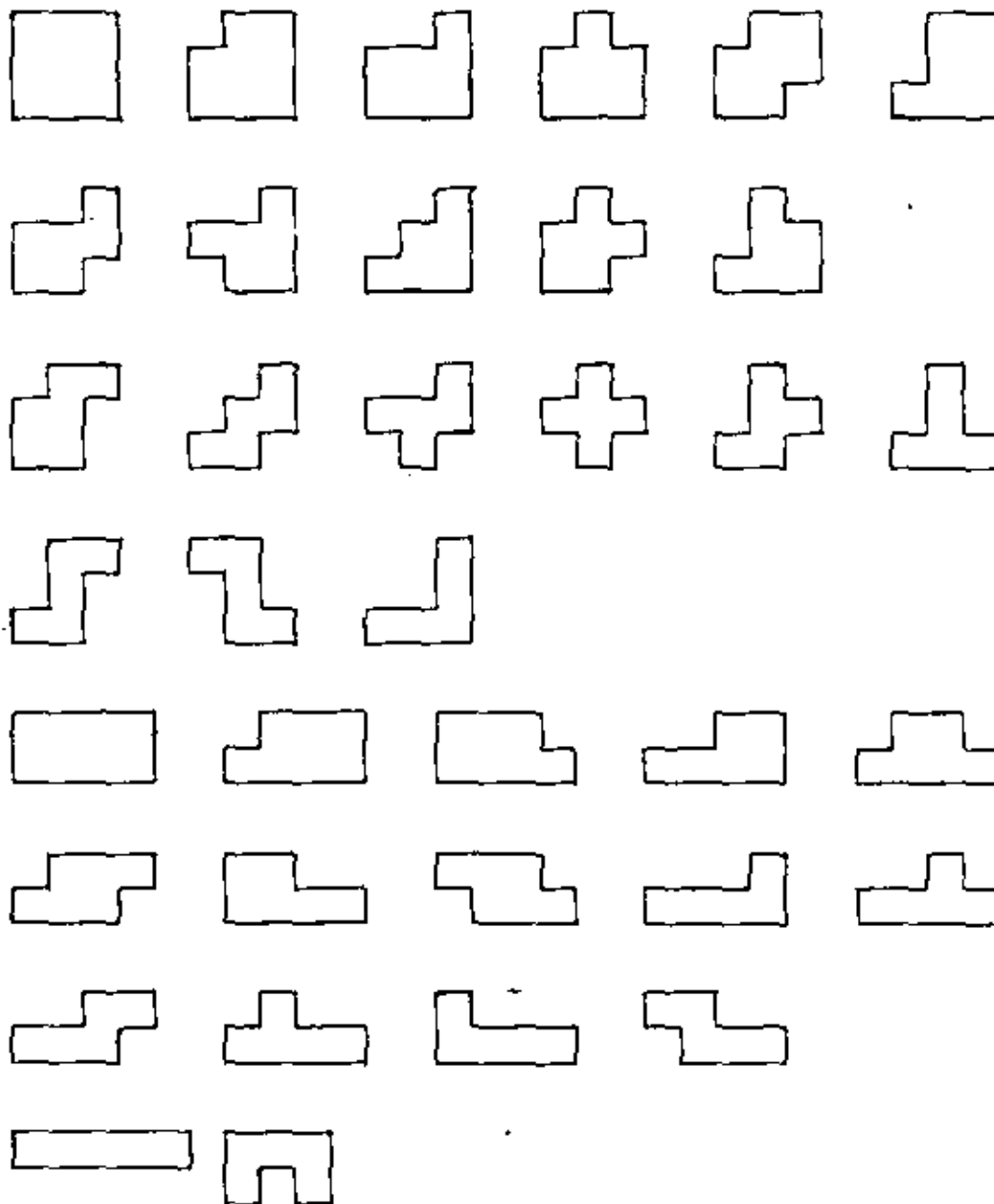


1 1 2 1 2 1 1 3

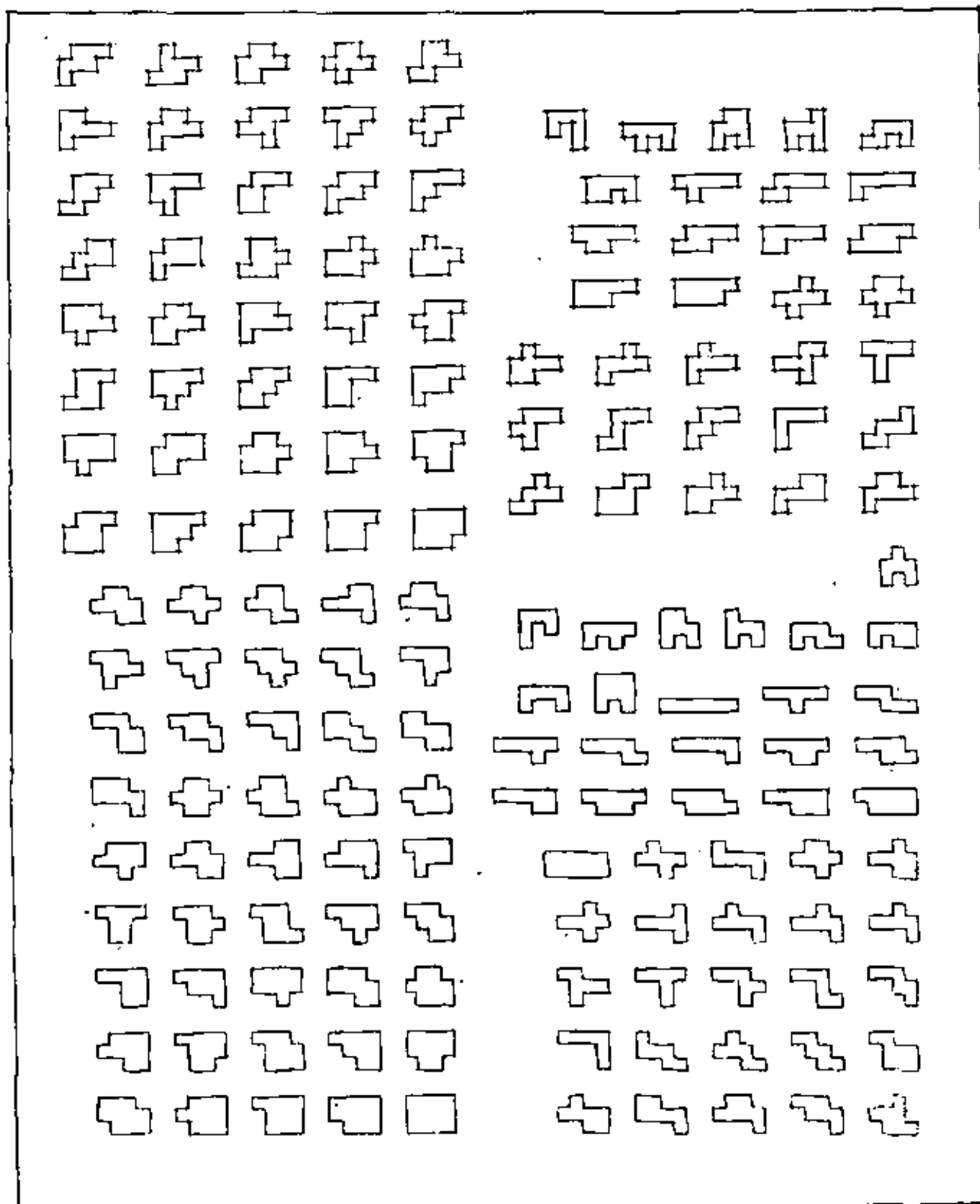
All the shapes of order 10.



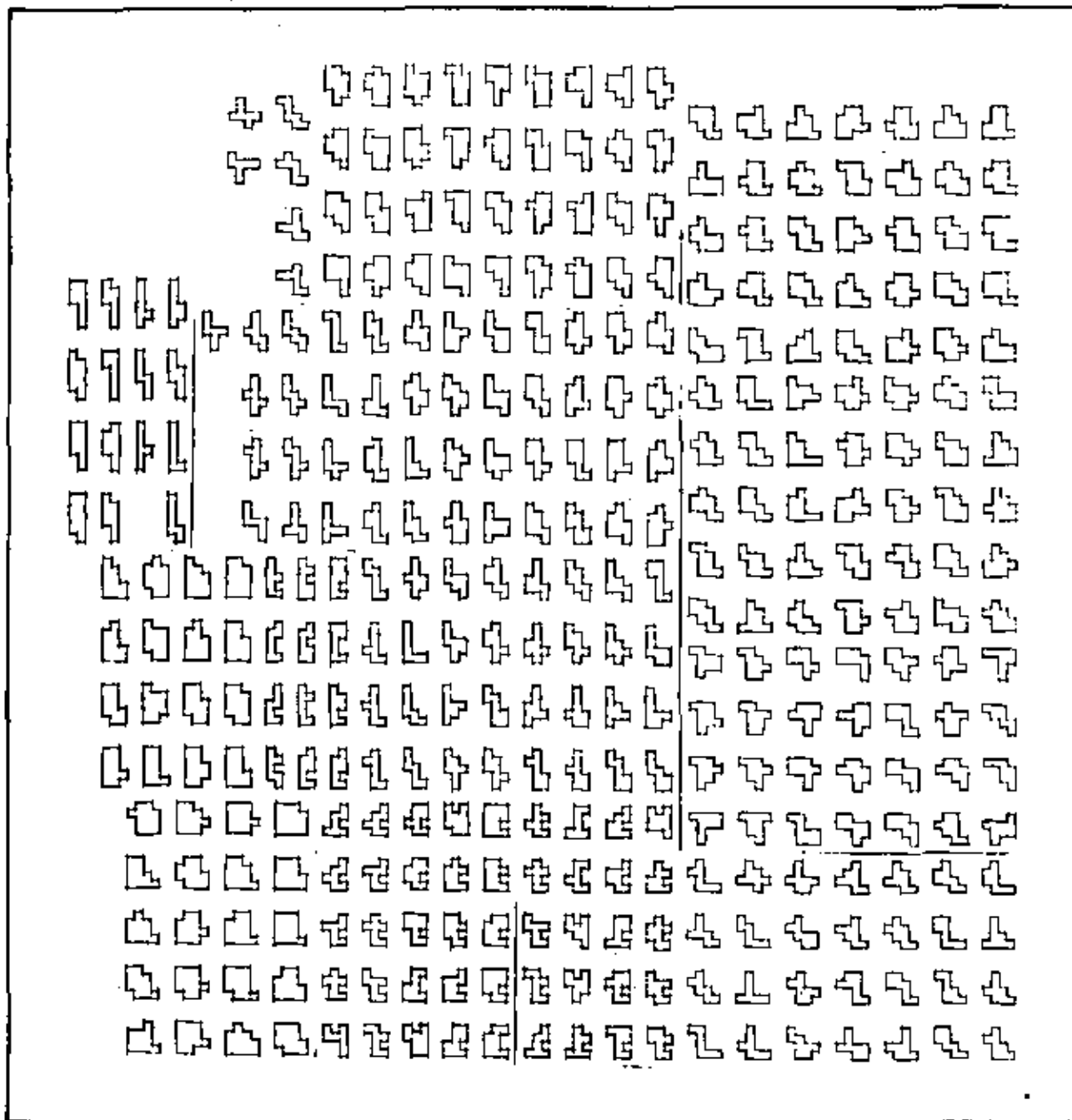
All the shapes of order 12.



All the shapes of order 14.



All shapes of order 16 (continued)

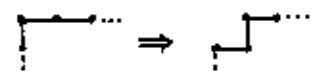


We do not know a formula to compute the number of (closed) shapes of order n . There are 1 shapes of order 4

3	8
9	10
36	12
	14
	16

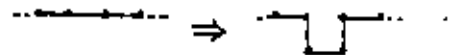
A procedure to find all the shape numbers of a given order

Suppose we want to find out all the shapes (or shape numbers) of order 12. We begin from the rectangles of order 12, and produce from them new shapes of order 12, through the procedure of "sinking the corners":



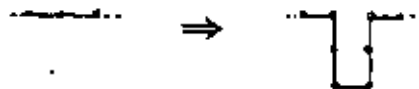
Each time we produce a new shape, it becomes a candidate for sinking its corners.

We then begin from all the shapes of order 10 (that is, $n - 2$) and produce new shapes of order 12, through the procedure of "sinking the edges":

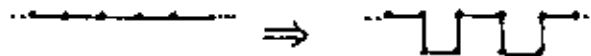


This produces shapes with holes of depth 1.

If possible, use shapes of order $n - 4$ and sink their edges to obtain holes of depth 2:



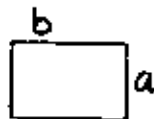
and also sink two holes of depth 1, simultaneously and in different parts of the chain:



Use in this manner until no longer possible, holes of depth 3, 4, etc.

Each hole of depth k increases the order of the altered shape by $2k$.

To find all the rectangles of order 12, observe that $a + b = 12/2 = 6$.

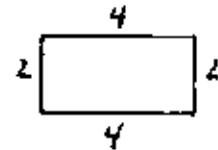
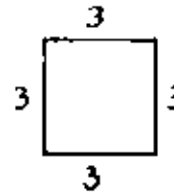
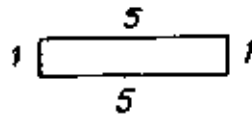


therefore the possible values for a and b are 3,3

4,2

5,1

and the only rectangles of order 12 are



The obtention of all the shapes of order 12 illustrates fully the procedure.

See Table 'OBTENTION OF ALL SHAPES OF ORDER TWELVE.'

How to find the shape number of order n of a region.

The procedure is:

(1) Find the major and minor axis, and the basic rectangle of the region.

Example: find the shape number of order 14 of



We proceed:



$$e = 4/3$$

(2) Find the rectangle of order n (cf. 'A procedure to find all the shape numbers of a given order') with excentricity closest to that of the region. This rectangle will be of size a,b such that $2(a+b) = n$ and $b/a \approx e$. In practice, it is better to aproximate the longer side of the rectangle instead of the excentricity. From the equations shown above, one can deduce that the longer side is $b = (n/2)(e/(1+e))$. Select a rectangle with longest side closest to that quantity.

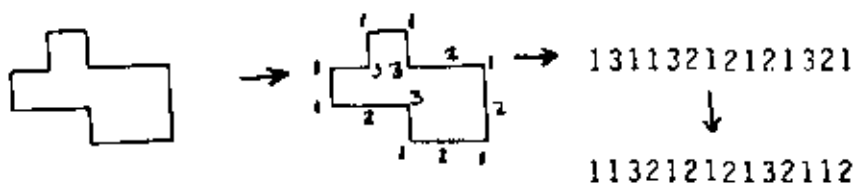
Lay this rectangle so as to cover the region, and make a grid of a by b square cells:



(3) Make black (=1) all those cells falling 50% or more inside the figure; leave white (=0) all others.



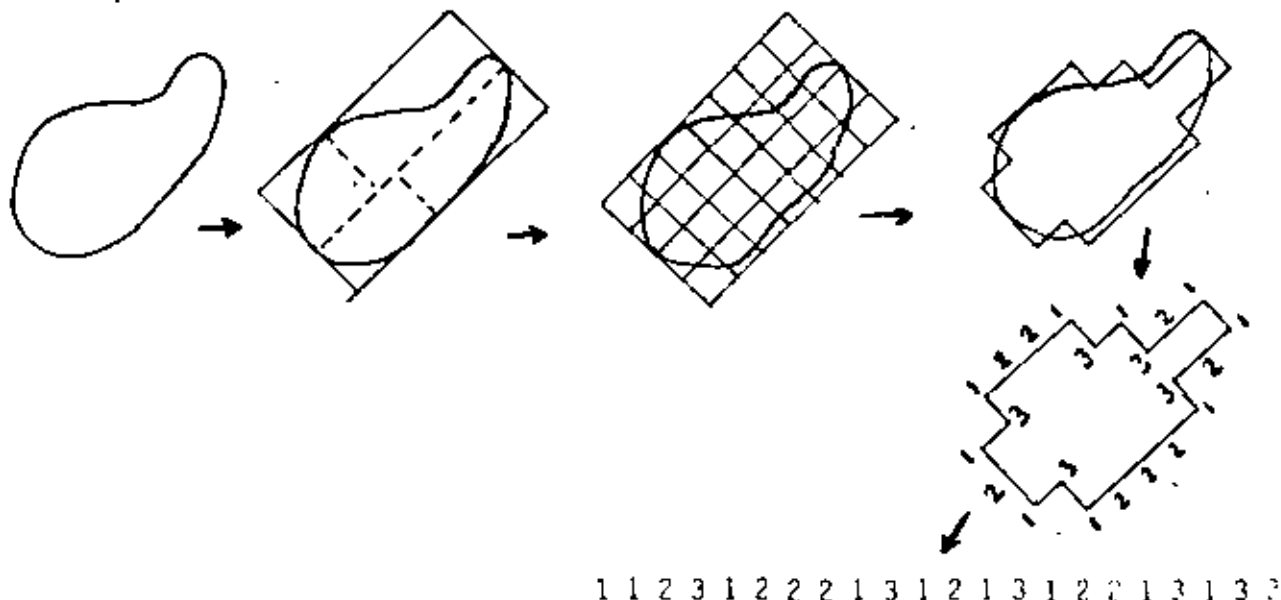
The boundary of this black region, expressed in the 1-2-3 notation, is the shape number that we are looking for:



(This procedure has been explained in more detail under § 'The Shape numbers').

Remember to write down the digits of the chain travelling it clockwise, and selecting the starting point in the 1 that makes the chain number the smallest of the n different chain numbers.

Example:

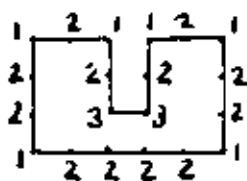


Notice that the resulting shape number is indeed of order n .

This will not be true if the figure has depressions ("holes") in its boundary. Let us try to find the shape number of order 16 of



Then,



12123321212212222122

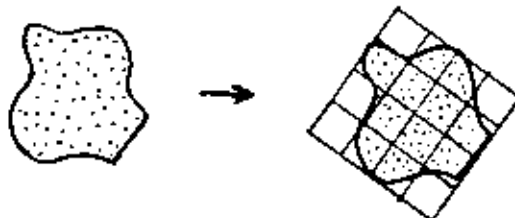
which has 20 elements.

The depression in the boundary makes the order bigger. We already had discovered this phenomenon: "each hole of depth k increases the order of the shape by $2k$." When this happens, i. e., we look for a shape of order n and find one of order $n+2d$, try next to look for a shape number of order $n-2d$. We know that, because of the presence of the holes, the shape number $n-2d$ will be increased by an amount equal to the "hole excess" $2d$, thus yielding the desired order n . This relation holds only approximately, since the size of the holes of order n is smaller than those of order $n-2d$. Thus, in practice, we will have to try several orders to start with, namely $n-2d$, $n-2d+2$, $n-2d+4$, ..., $n-2$, and when we obtain a shape number of order n , that is it.

Alternative procedure for finding the shape number of order n . An example illustrates this variant.

Given the region; find its major and minor axis, as well as the basic rectangle, as before.

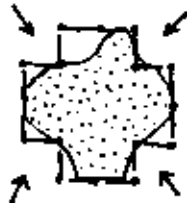
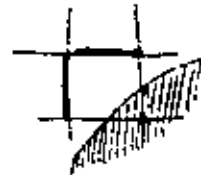
Example: find the shape number of order 16 of the region below.



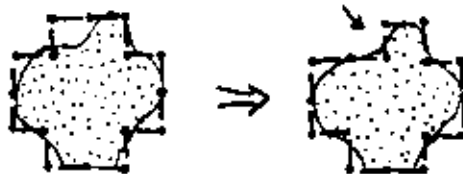
Now place n sticks (n is 16 in the example) of equal size on the rectangle:



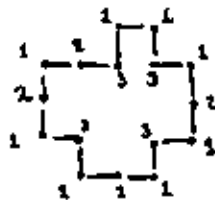
Now begin to push corners: if two sticks surround a cell nearly empty (less than 50%), push that corner:



and we continue the process until no further progress is possible.



The final chain is



which is now travelled clockwise, giving 1 3 1 2 1 3 1 2 1 3 1 2 1 2 3 1
 which is now rotated circularly (shifted around) until we reach the
 smallest value for the whole chain:

1 1 3 1 2 1 3 1 2 1 3 1 2 1 2 3

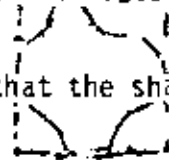
This is the shape number of order 16.

Do not forget to push through holes, too, if needed.

If the resulting shape number is of order larger than n , we proceed as already explained.

Properties of the shape number: Insensitive to orientation of the region.
Insensitive to position of the region. Insensitive to size of the region.
Insensitive to origin of the chain.

It is therefore appropriate to think that the shape number of a figure indeed describes its shape (q.v.).



Also, since it is possible to compute the shape number of a region without reference to a table of stored shapes (canonical shapes), we avoid making correlations or comparisons of shapes. That is, the shape number of a region can be deduced solely from the region.

In addition, we can vary the precision of the resulting shape number. This is done with the order of the shape number, that is, the size of the sticks that we use to find that shape number.

The next section shows how to measure quantitatively the difference in shape of two regions denoted by their shape numbers.

MEASUREMENT OF THE SIMILARITY OF TWO SHAPES

(Def) Two regions a and b have the same shape of order n if and only if the shape number of order n of a is equal to the shape number of order n of b.

(Def) Two regions have identical shape if for all n, they have the same shape of order n.

That is, if for all n, the shape number of order n of a coincides with the shape number of order n of b.

Now, notice the following:

- (1) All regions have the same shape of order 4, since there is only one shape of order 4, the square 1 1 1 1.
- (2) If two regions do not have identical shape, there is a minimum k at which the shapes are not the same, that is, the shape number of order k of a is different from the shape number of order k of b.
- (3) Those two figures will have the same shape of order n for n less than k; those two regions will have different shapes of order n for n greater or equal to k.

That is, any shape number of order smaller than k of one region will be the same for the other region (when computed at the same order); all the shape numbers of order greater or equal than k will be different.

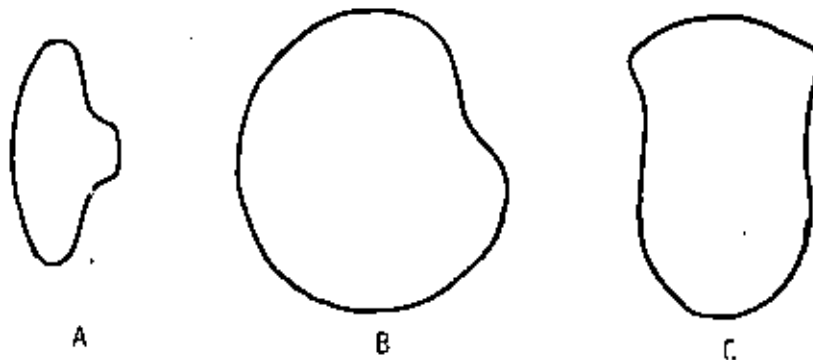
(Def) The maximum order at which the shapes of two regions agree (at which the two regions have the same shape) defines their degree of similarity. Using the k defined in (2) above, the degree of similarity between a and b is $k-2$.

Informally speaking, it is the maximum precision (resolution, size of the magnifying lens) that still confuses two shapes, by reporting the same shape number for both. The smaller the degree of similarity between two regions, the more different in shape they are.

Any region is similar to any other at degree 4.

Two figures with identical shape have a degree of similarity equal to infinity.

Example. Let us examine the regions



Then,

shape numbers
of order 4
are

$$S_4(a) = 1111$$

$$S_4(b) = 1111$$

$$S_4(c) = 1111$$

of order 6

$$S_6(a) = 112112$$

$$S_6(b) = 112112$$

$$S_6(c) = 112112$$

of order 8

$$S_8(a) = 11221122$$

$$S_8(b) = 12121212$$

$$S_8(c) = 12121212$$

of order 10

$$S_{10}(a) = 1122211222$$

$$S_{10}(b) = 1131212122$$

$$S_{10}(c) = 1212212122$$

of order 12

$$S_{12}(a) = 112221131213$$

$$S_{12}(b) = 121221221213$$

$$S_{12}(c) = 121222121222$$

of order 14

$$S_{14}(a) = 11222211231132$$

$$S_{14}(b) = 12121312212123$$

$$S_{14}(c) = 113(122)^313$$

Thus, we conclude

- that the degree of similarity between a and b is 6, written $a \approx_6 b$.
- that the degree of similarity between a and c is 6, written $a \approx_6 c$.
- that the degree of similarity between b and c is 8, written $b \approx_8 c$.

Example. The shape numbers of figures D, E and F (shown in next page) are:

	D	E	F
order 8	12121212	12121212	12121212
order 10	1121221123	1131212122	1212212122
order 12	112131131123	113113113113	121222121222
Order 14	11232121221222	11231131131223	12122221212222

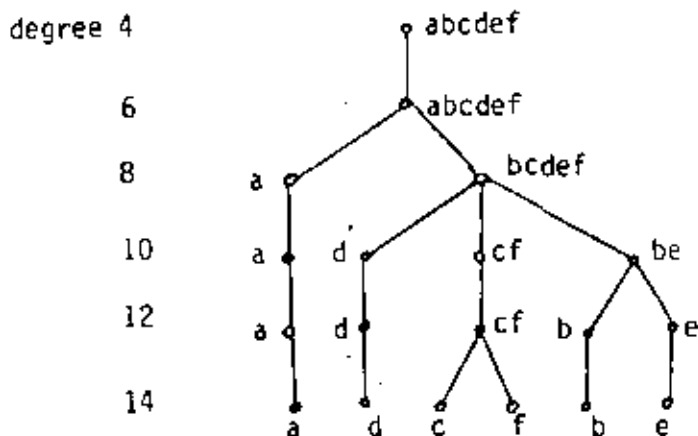
- Therefore, the degree of similarity of d and e is 8;
- the degree of similarity of e and f is 8;
- the degree of similarity of d and f is 8.

We can also compare these figures against the previous three regions; and concentrate the degrees of similarity in the following similarity matrix:

	A	B	C	D	E	F
A	∞	6	6	6	6	6
B	6	∞	8	8	10	8
C	6	8	∞	8	8	12
D	6	8	8	∞	8	8
E	6	10	8	8	∞	8
F	6	8	12	8	8	∞

The similarity matrix is symmetrical.

The shapes form a similarity tree, as follows:



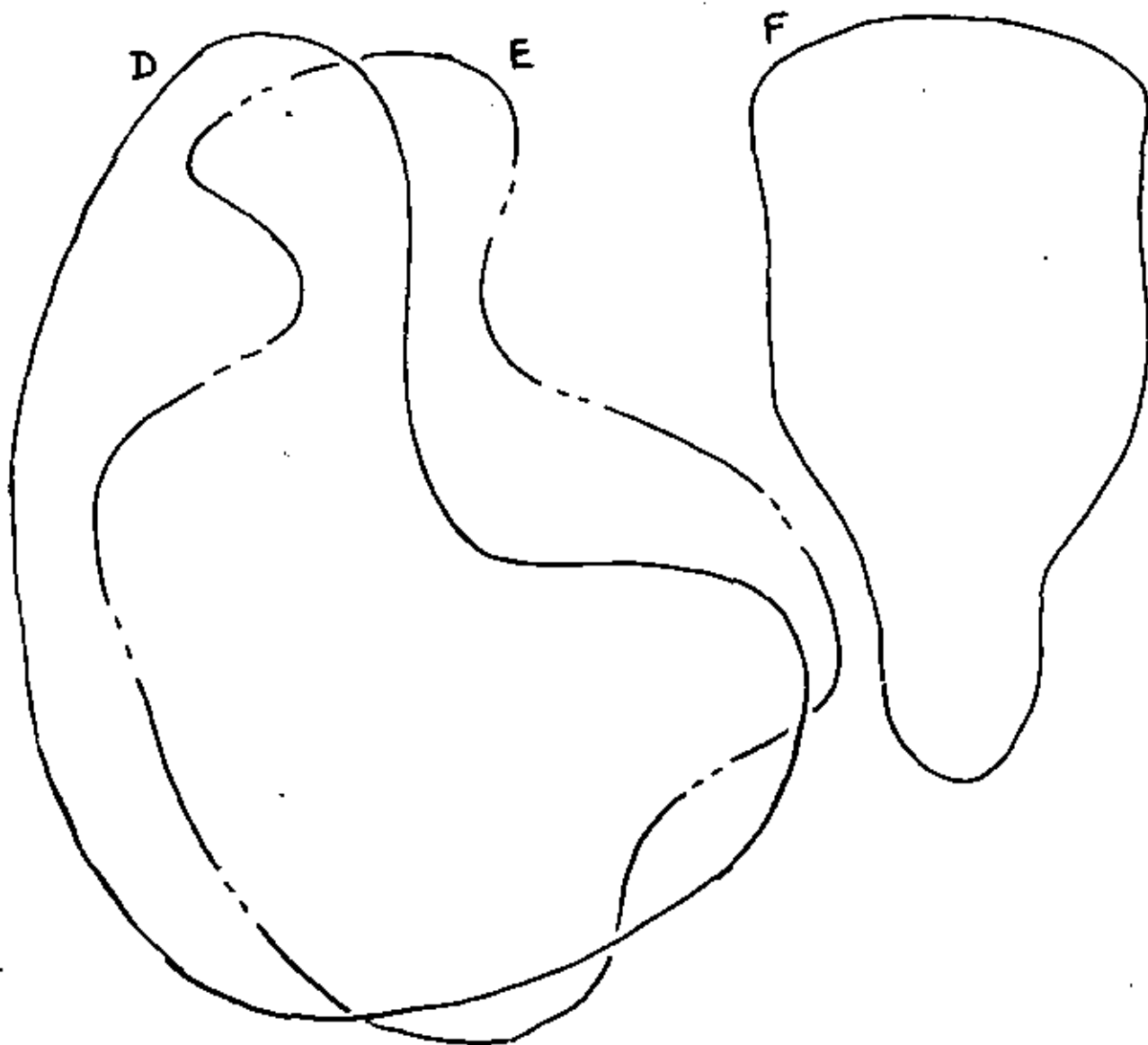


FIGURE 'SIMILARITY BETWEEN REGIONS'

The regions shown here are compared among themselves and with regions a, b and c shown before. The results can be expressed in a similarity matrix and in a similarity tree; they are shown in the previous page.

If the degree of similarity of f_1 and f_2 is 12, and that of f_3 and f_4 is 24, we can not conclude that f_3 and f_4 are "twice as close in shape" as f_1 and f_2 . This is like the temperature: a body at 100°C is not twice as hot as one at 50°C (if you do not believe it, convert them to degrees Fahrenheit, or to $^\circ\text{K}$).

Equivalence relations for shapes. The relation " f_1 and f_2 have degree k of similarity (for a fixed k)" is not an equivalence relation:

- (1) f_1 has not a degree of similarity equal to k with f_1 . It is infinity.
- (2) The relation is symmetrical.
- (3) $f_1 \approx_k f_2$ and $f_2 \approx_k f_3$ does not always implies $f_1 \approx_k f_3$. For instance, if f_1 and f_3 are very close in shape (degree 200 of similarity), we may have, when we compare each of them with a less similar f_2 ,

$$f_1 \approx_{30} f_2,$$

$$f_2 \approx_{30} f_3,$$

but $f_1 \approx_{200} f_3$, instead of $f_1 \approx_{30} f_3$.

The relation " f_1 and f_2 have a degree of similarity of at least k (for fixed k)", is an equivalence relation.

- (1) f_1 and f_1 have a degree infinity of similarity (thus, at least k).
- (2) It is a symmetric relation.
- (3) If f_1 and f_2 have a degree of similarity of at least k , then their shape numbers of order k are equal, $s_k(f_1) = s_k(f_2)$. If f_2 and f_3 also have a degree of similarity of at least k , we also have $s_k(f_2) = s_k(f_3)$. Therefore, $s_k(f_1) = s_k(f_3)$, which says that f_1 and f_3 have a degree of similarity of at least k .

Thus, for instance, there are three equivalence classes for figures having a degree of similarity of at least 8: a representative for each class is found in § 'All the shapes of order 8'.

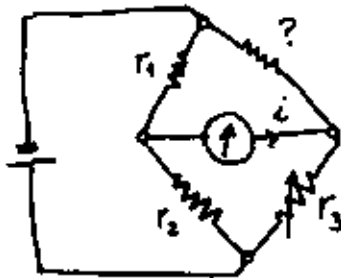
Remarks on the degree of similarity

No parsing is necessary. To find the degree of similarity between a and b ,

their shape numbers are compared for equality. Two shape numbers of different orders are incommensurable. Two shape numbers of the same order are either equal or different. If different, that is it. There is no need to compare "how close in shape they are." String matching [Guzmán 66] is not needed.

To find out the degree of similarity, a binary search is used (or a modified binary search, if it costs more to compare --or deduce-- numbers at large orders than those at low orders): First see whether the shape numbers at order 8 are equal or not. Then compare the shape numbers at the highest required accuracy (say, 100). Then at the middle. Then at the middle of the remaining "valid half. And so on.

Precision is not needed when comparing shape numbers. Think of the Wheatstone bridge, that old instrument used to measure the value of resistances. An



amperimeter says whether current i is zero or not. This amperimeter does not measure the resistance itself; it only says: current is 0. Stop! Then the value of the resistance is obtained by a formula that does not involve the current (since it is zero!). Naturally, it does not need to be a high precision amperimeter.

In our case, the degree of similarity is not measured or given by the shape comparison test. It is given by a process that uses the comparison test. If not yet satisfied, this process 'orders' the comparison test to compare a different pair of numbers, just asking from it (from the test) a binary decision.

Ultradistance. If we define the distance between two shapes a and b to be the inverse of their degree of similarity, then we could easily prove that it is not only a distance, but also an ultradistance. That is, it obeys $d(a,c) \leq \text{Sup}(d(a,b), d(b,c))$ in addition to the less demanding condition $d(a,c) \leq d(a,b) + d(b,c)$.

Distance. (def) The distance between two shapes a and b is defined to be the inverse of their degree of similarity. $d(a,b) \triangleq 1/k$.

Then d is an ultradistance, obeying

$$d(a,a)=0 \tag{1}$$

$$d(a,b) \geq 0 ; \quad d(a,b)=0 \text{ if and only if } a = b \tag{2}$$

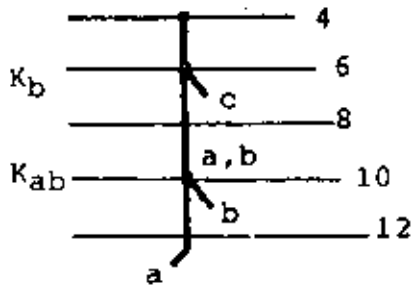
$$d(a,c) \leq \text{Sup}(d(a,b), d(b,c)) \tag{3}$$

Proof. (1) and (2) are obtained directly from the definition.

To prove (3), call $k_{ab} = 1/d(a,b)$ and $k_{bc} = 1/d(b,c)$ the degrees of similarity and distances between a--b and b--c.

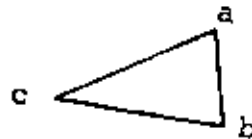
Then k_{ab} is either greater than, equal to or less than k_{bc} .

Case 1. $k_{ab} > k_{bc}$. Then in the tree, k_{bc} is above k_{ab} . The branching of c occurs nearer to the root than the branching of a.

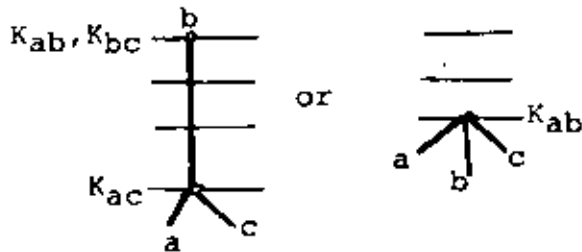


Then $k_{ca} = k_{bc}$ also.

And $d(a,c) = 1/k_{ca} = 1/k_{bc} = \sup(1/k_{bc}, 1/k_{ab})$
 $= \sup(d(b,c), d(a,b))$ since $k_{ab} > k_{bc}$.



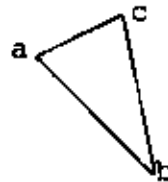
Case 2. $k_{ab} = k_{bc}$.



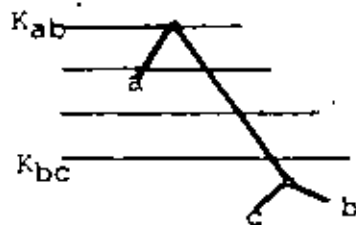
The branching of c from b occurs at level k_{ac} or above.

Then $k_{ca} \geq k_{bc}$ and

$d(a,c) = 1/k_{ca} \leq 1/k_{bc} = \sup(1/k_{bc}, 1/k_{ab})$
 since $k_{bc} = k_{ab}$.



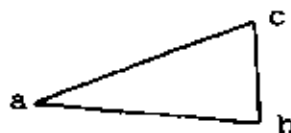
Case 3. $k_{ab} < k_{bc}$.



In this last case k_{bc} is below k_{ab} . Branching of c from b occurs below branching of a from b.

Then $k_{ca} = k_{ab}$ also

and $d(a,c) = 1/k_{ca} = 1/k_{ab}$
 $= \sup(1/k_{bc}, 1/k_{ab})$
 $= \sup(d(b,c), d(a,b))$ since $k_{bc} > k_{ab}$.



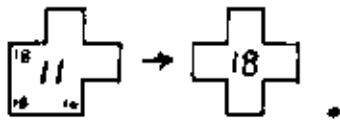
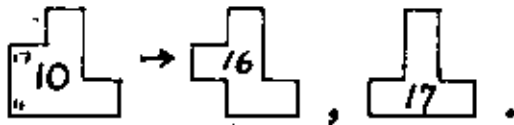
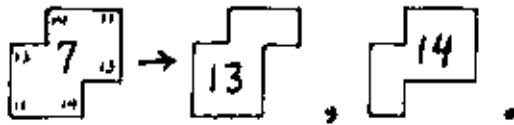
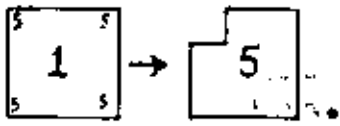
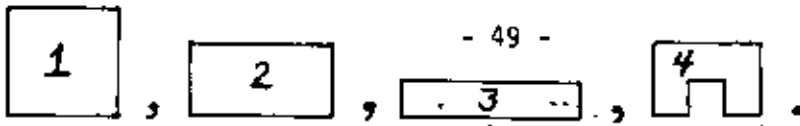
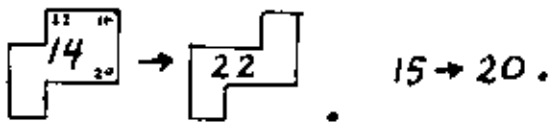
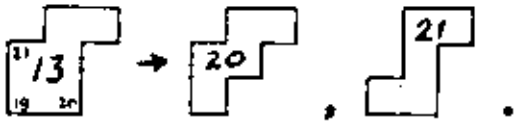
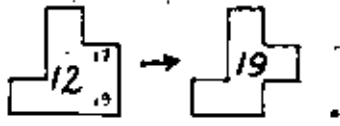


TABLE 'OBTENTION OF ALL THE SHAPES OF ORDER 12' Part 1 of 2.



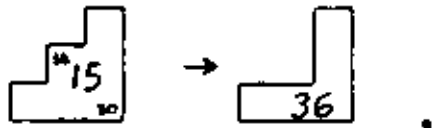
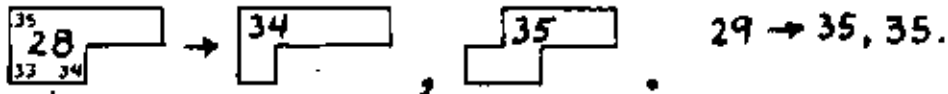
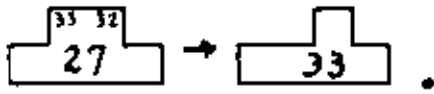
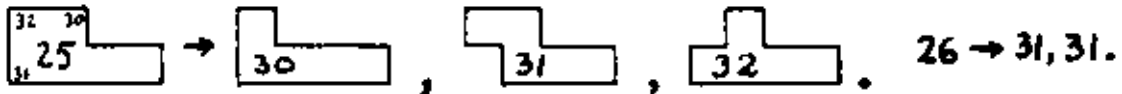
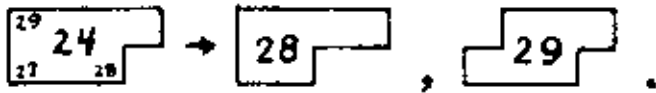
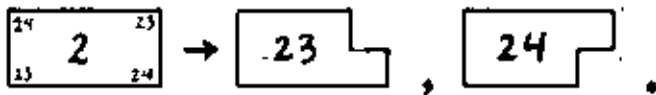


TABLE 'OBTENTION OF ALL THE SHAPE NUMBERS OF ORDER 12'

Part 2 of 2.

Any family of shapes is produced from the basic rectangles by two procedures, explained in the text: "sinking the corners" and "sinking the sides."

Comments on this theory of shapes

Shape numbers are not invariant under (1) reflexions (mirror images), (2) skewing, (3) unequal expansion along the axis X and Y.

These transformations (1)-(3) alter what could be considered the (intuitive) shape of a figure. At the end of the paper a Theory "B" of shapes is presented, where condition (3) is violated, i.e., a circle and an ellipse have the same Bshape number.

Problems with this theory of shapes

1. Occasional loop in the similarity tree. Due to noise or the 50% requirement for quantization, and at low orders, sometimes it is observed a transitory divergence and then convergence in the shapes of two regions,

v. gr.,

$$\begin{aligned} s_8(a) &= s_8(b) \\ s_{10}(a) &\neq s_{10}(b) \\ s_{12}(a) &= s_{12}(b) \\ s_{14}(a) &\neq s_{14}(b) \\ s_{16}(a) &\neq s_{16}(b) \\ &\vdots \end{aligned}$$

i.e., they were already different at order 10, but they are again equal at order 12 (however, only to separate soon forever). This still gives a unique number for the shape of a region, but makes the definition of degree of similarity less attractive, and the procedure to find it, unreliable. Only loops of size 2 (such as the example given) have been found, infrequently. These loops disappear if you eliminate half of the orders (cf. Suggestion 8b).

2. Non existent shape numbers. Shape number of order n may occasionally not exist for a given figure, due for instance to symmetrical holes of type I in figure 'HOLES AND DEGENERATE SHAPES'. This does not bother the similarity procedure, but it is a nuisance not to have that shape number. See also Suggestion 8a.

3. Quantization of the excentricity. The basic rectangles of order 12 have

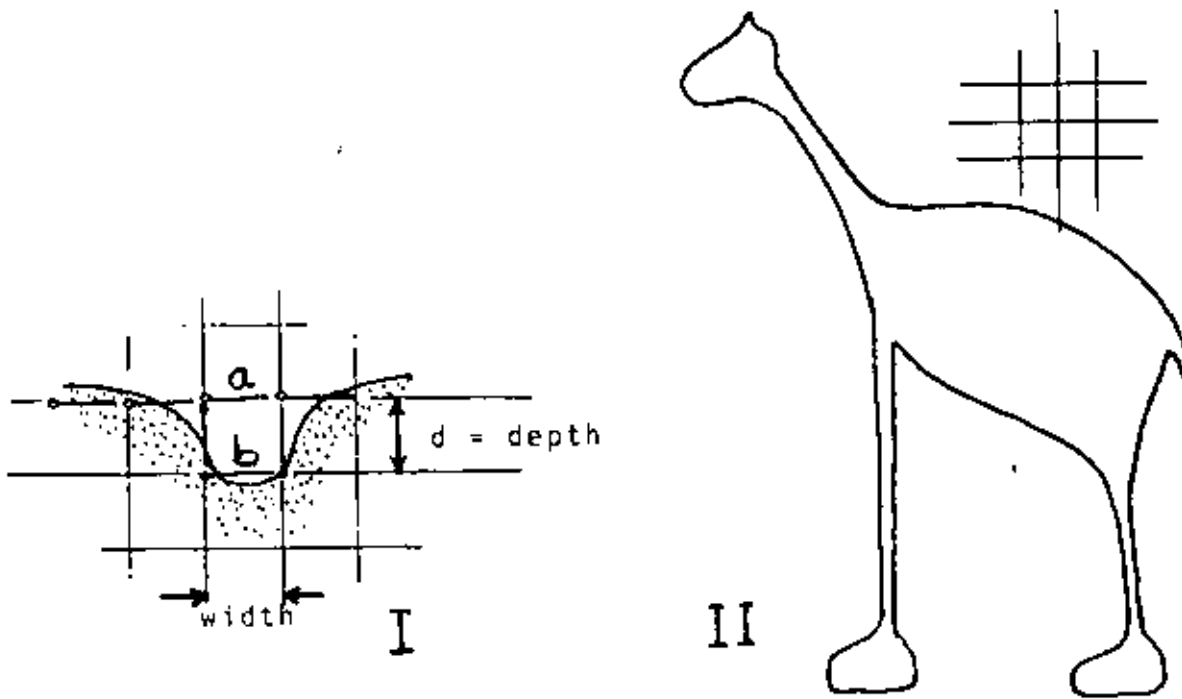


FIGURE 'HOLES AND DEGENERATE SHAPES'

- I. A depression of depth d increases the shape number by $2d$.
- II. Degenerate regions split the discrete shape but do not have a shape number.

excentricities equal to 1 (the square of 3 by 3), 2 (the rectangle of 4 by 2), and 5 (the rectangle of 5 by 1). For an object of excentricity 1.6, one of these has to be used. An error is going to be committed in any case. There seems to be no way out of this. See Suggestion 5.

We now present a theory that has none of these problems.

THEORY "B" FOR SHAPE DESCRIPTION AND SHAPE COMPARISON

To obtain this new theory, we will make some changes to the current theory:

1. Force the excentricity of any region to be equal to one, by performing an unequal dilation of its axis, $X' = a x$, $Y' = b y$, $a \cong b$.

The only discrete Bshapes that now exist are those obtained from squares. All the rectangles have disappeared.

2. Do not go into depressions (part I of figure 'HOLES AND DEGENERATE SHAPES') with width smaller than the size of the side of the cell of the grid. This avoids degenerate shapes.

That is, if a region is "scratched" by thin lines (thinner than the size of the grid) that belong to the background, we either ignore them (act as if they were not there) or else, if they can not be ignored, this theory "B" says that the size of the grid is inappropriate to describe such region, and that its Bshape does not exist at this order. Higher resolution is needed.

3. Let the depressions where the sticks do go in (because they are wider than part I of figure 'HOLES AND DEGENERATE SHAPES') generate Bshape numbers having a number of (ternary) digits longer than the expected order. That is, do not correct the anomaly that these depressions cause. The perimeter of the Bshapes does not tell anymore its order.
4. Eliminate the orders that are not powers of two. The only valid orders for Bshape numbers are 4, 8, 16, 32, ... These numbers still indicate the number of sticks to place around the basic square of the region (cf. § 'Alternative procedure to find the shape number of order n'). The procedure is the following.

How to find the Bshape number of order n

1. Find the basic rectangle of the region and convert it to a square. Declare that the Bshape number does not exist if the region has necks (isthmus) or depressions (channels, fjords) narrower than 2^{2-n} or $4/o$.
2. Make a grid by dividing the side of the basic square into $o/4$ segments.

3. Mark with a 1 each cell of the grid of step 2 that is more than 50% contained in the region (you could also go through the variant described in § 'Alternative procedure for finding the shape number of order n'). The collection of grid squares containing a 1 form a discrete Bshape.
4. Find the shape number of the discrete Bshape of step 3, and give that as answer (even if it has more than 0 ternary digits).

The order o of a Bshape number is four times the number of parts into which the side of the basic square was divided. It is also the perimeter (measured by the number of sticks) of the basic square.

It is no longer the perimeter of the discrete Bshape; nor the number of ternary digits of the Bshape number.

An example of Bshape numbers is given in figure 'SOME BSHAPE NUMBERS'. Also, in the next few pages we show the Bshape numbers of order 4 to 64 for figures A to F.

The degree of similarity between the Bshapes of two regions is obtained as before. Definition unchanged.

Some examples are given in the following pages, for figures A to F.

Downwards constructability. Given the Bshape number of order o of a region, the Bshape number of order o/2 can be deduced from it, by regrouping appropriate sets of 4 neighboring cells into a cell for the lower order. Therefore, if two regions have the same Bshape number of order o, they will continue to have equal Bshape numbers of smaller order, until they cease to exist. This gets rid of problem 1, 'Occasional loops in the similarity tree' of the former theory.

Upwards existence. If the Bshape number of order o of a region exists, the existence of numbers for higher orders is guaranteed: (1) the inexistence of channels or narrow parts of the region thinner than $4/o$ implies the inexistence of those narrower than $4/(o+i)$ for $i > 0$; and (2) wider depressions (wider than part I of figure 'HOLES AND DEGENERATE SHAPES') will produce valid parts of the Bshape number, although its number of digits may increase. This defeats problem 2 of the former theory, "non existent shape numbers."

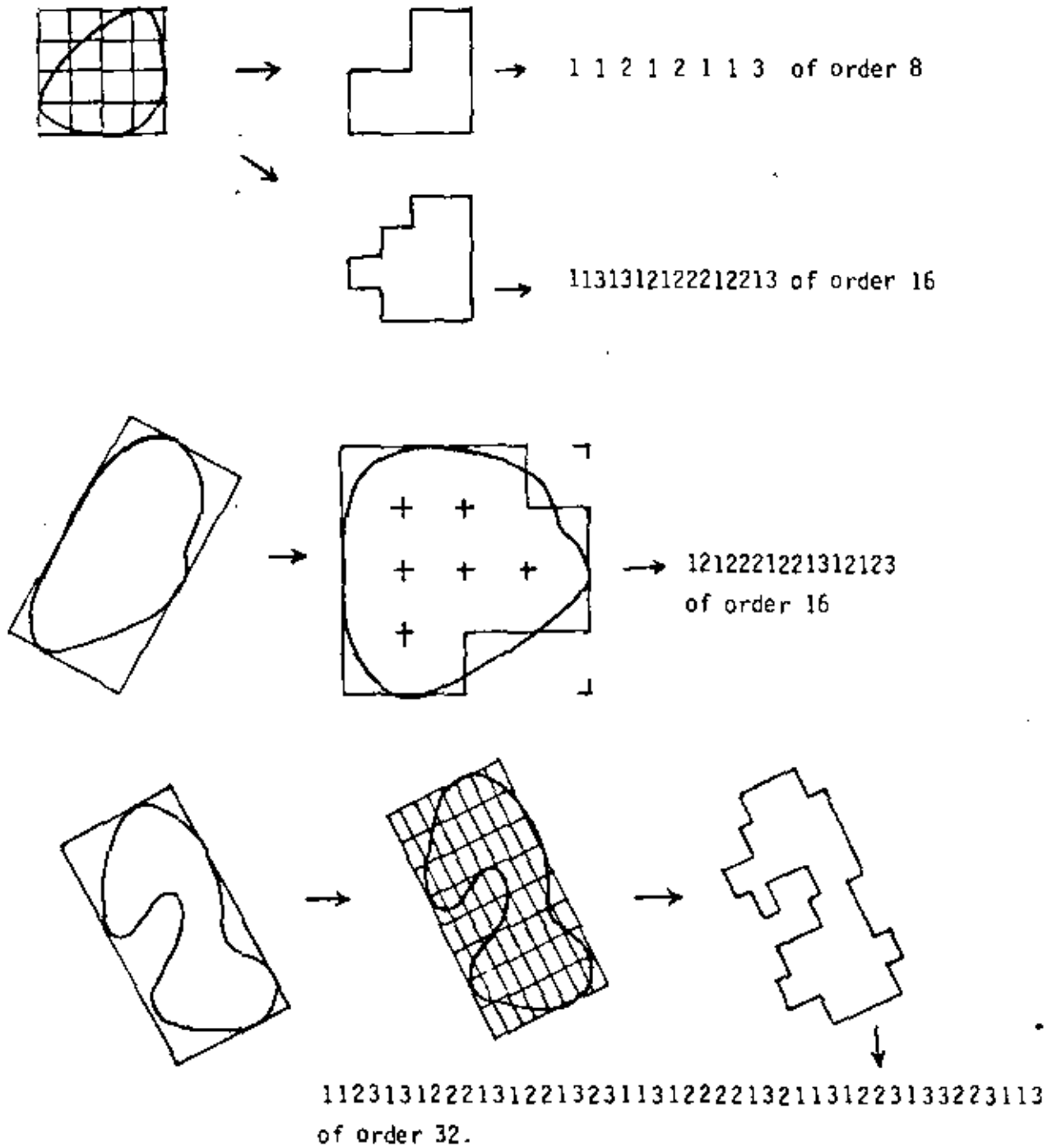


FIGURE 'SOME BSHAPE NUMBERS'

Finally, problem 3 of the former theory "quantization of the excentricity" is not present in Theory "B" because all excentricities are now equal to 1.

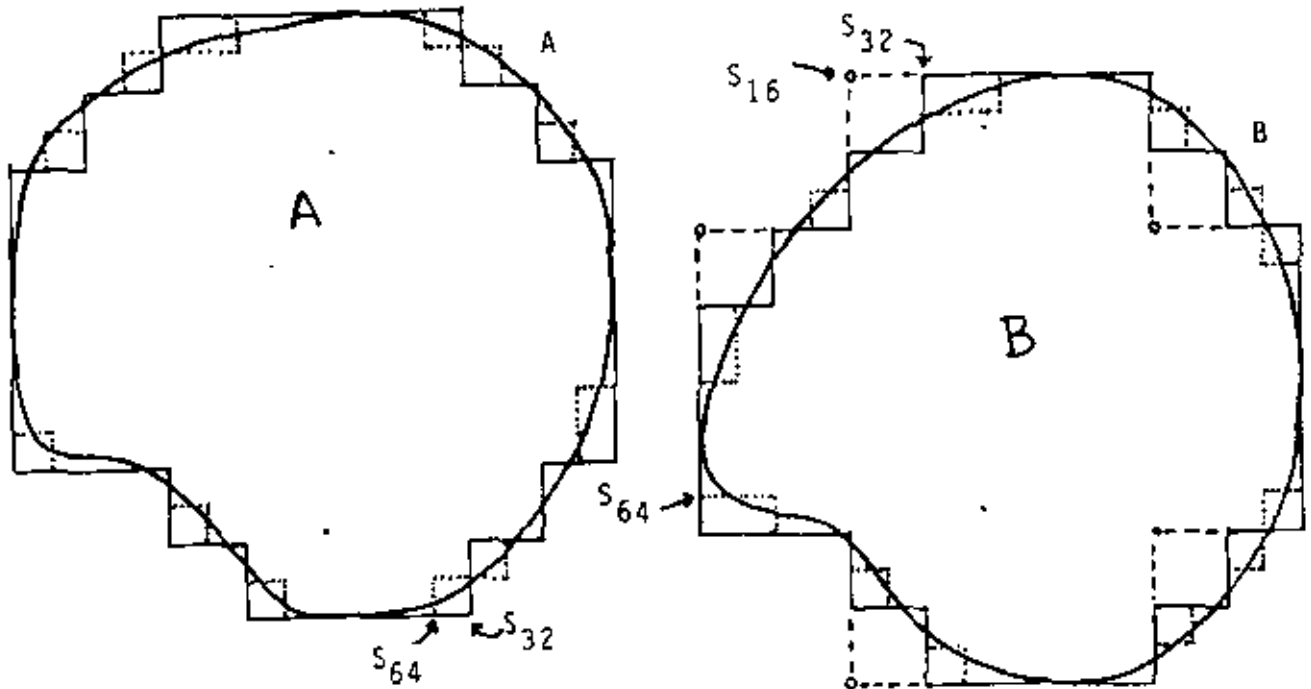
Some examples of similarity comparison using theory "B" are given in table 'SIMILARITY TREE FOR THE BSHAPES OF REGIONS A TO F'.

Disadvantage of Theory "B". Squeezing along one axis is now a valid (Bshape preserving) transformation. Thus, either your application does not care for the excentricity or aspect ratio, or you carry it as another parameter, in addition to the Bshape number. I suppose you are going to be carrying other parameters of the region (length, orientation) anyway.

Also, more care needs to be exercised now when selecting the major and minor axis, to avoid noise perturbations (cf. suggestion 7).

SUGGESTIONS AND RECOMMENDATIONS FOR FURTHER WORK .

1. Use other tessellations (triangles, hexagons) instead of the square grid. I would like to see the triangle and circle as primitive shapes at low orders.
2. Use eight directions for the sticks, not 4. This will produce more shape numbers of a given order, thus making the tables of canonical shapes larger. But this is safe because the deduction of the shape number does not involve table lookup or comparison with these canonical shapes.
3. Apply these theories to scene analysis of coloring books [Guzmán 71]; chromosomes; silhouettes of industrial parts on a conveyor belt; hand printed digits and zip codes; automatic taxonomy of shapes of shoes, airplanes; insects (their outline) ; texture description for binary images.
4. Extend these theories to shapes with holes inside them.
- 5.A. (Refer to problem 3 of first theory). Distort slightly the basic rectangle of the region, together with the region, so as to have it coincide exactly with the rectangle chosen among the discrete shapes. the grid is now of rectangles that are almost squares.
- 5.B. (Refer to problem 3 of first theory). A better way to select, among the rectangles of order n and certain excentricity, is to minimize the discrepancy between the areas of the region and of the rectangle.



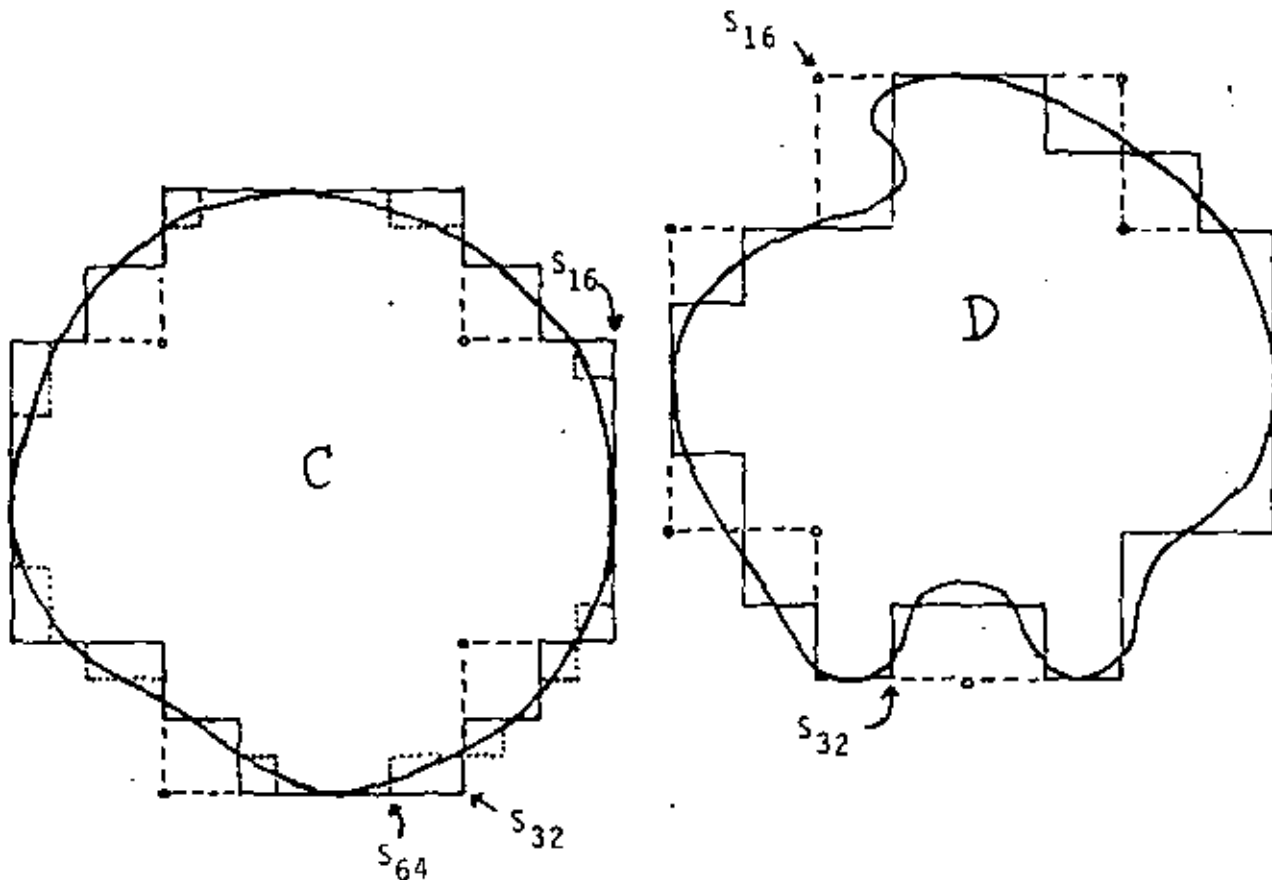
$$\begin{aligned}
 S_4(a) &= 1^4 & S_8(a) &= (12)^4 & S_{16}(a) &= (1213)^4 \\
 S_{32}(a) &= 122(13)^2 212^3 (13)^2 12^3 (13)^2 12^3 (13)^2 \\
 S_{64}(a) &= 12^3 (13)^4 221312^6 (13)^3 122312^4 132(13)^3 12^5 (132)^2 13123 \\
 S_4(b) &= 1^4 \\
 S_8(b) &= (12)^4 & S_{16}(b) &= (1213)^4 \\
 S_{32}(b) &= 122(13)^2 12^3 (13)^2 122(13)^2 2122(13)^3 \\
 S_{64}(b) &= 1221(321)^2 (31)^2 2312312^3 1(31)^3 2312^5 132(13)^3 12^4 (13)^4 2132
 \end{aligned}$$

FIGURE 'REGIONS A AND B, WITH SOME OF THEIR SHAPE NUMBERS'

The arrows on the figures signal the beginning of the string of order 32 or 64.

The distances among these Bshapes (ultradistances that measure Bshape) are given in the distance matrix later in the report.

The distance between a and b is $1/16 = 0.0625$

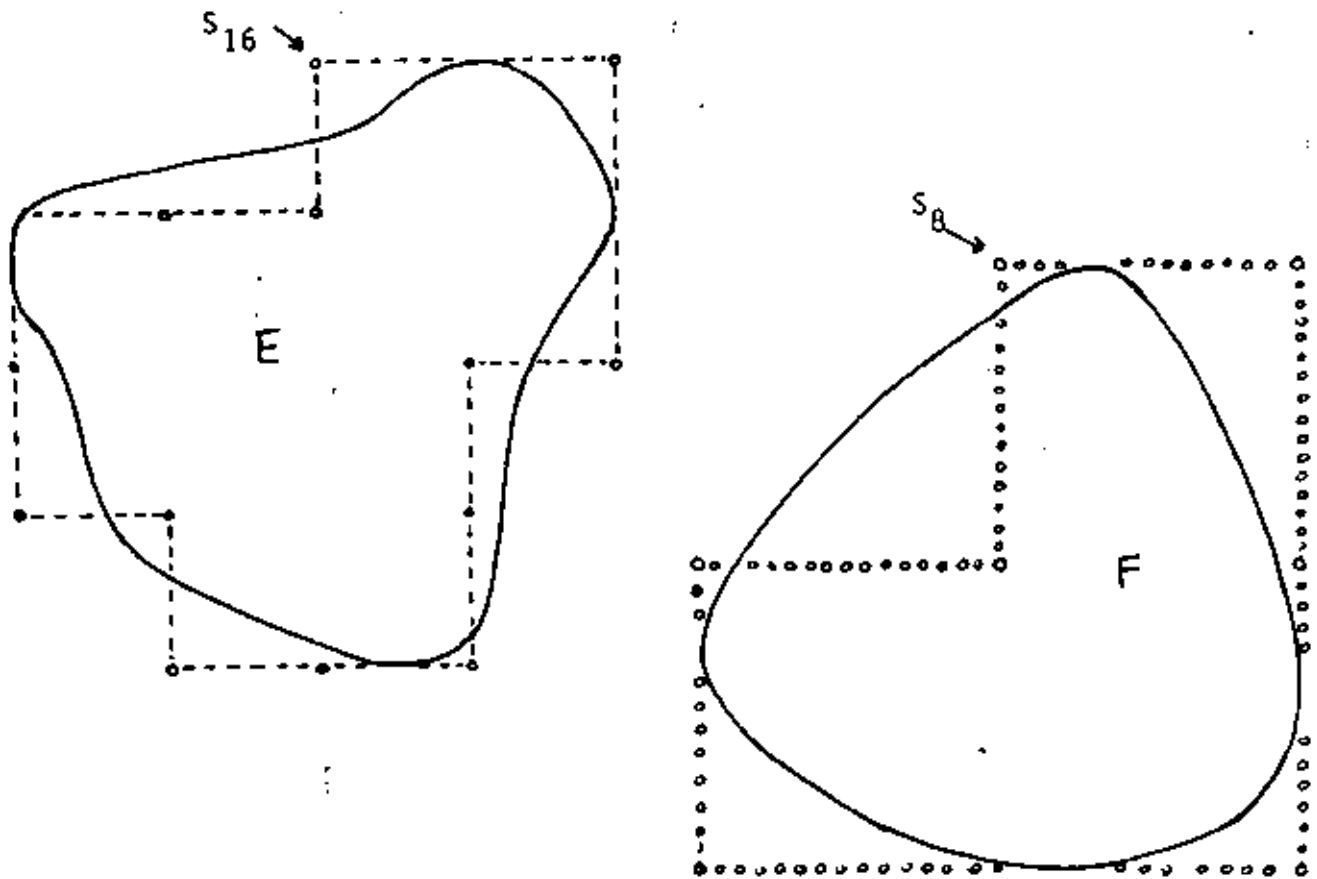


$$\begin{aligned}
 S_4(c) &= 1^4 & S_8(c) &= (12)^4 & S_{16}(c) &= (1213)^4 \\
 S_{32}(c) &= 122(13)^2 212^3 (13)^2 12^3 (13)^2 12^3 (13)^2 \\
 S_{64}(c) &= 122(13)^2 (213)^2 12312^3 (132)^2 12(31)^2 2^4 (132)^2 12(31)^2 2^5 132 \\
 &\quad (13)^2 1223 \\
 S_4(d) &= 1^4 & S_8(d) &= (12)^4 & S_{16}(d) &= (1213)^4 \\
 S_{32}(d) &= 11312312131232121321312^3 123211323(13)^3 2132 \\
 S_{64}(d) &= 121232^3 32121(31)^2 2312312^3 1312312232^3 12221321(31)^4 \\
 &\quad 2^4 (13)^3 2132
 \end{aligned}$$

FIGURE 'REGIONS C AND D, WITH SOME OF THEIR BSHAPE NUMBERS'

The similarity matrix for the bshapes of these regions is found in the following pages.

C and D have a degree of similarity equal to 16; $c \approx_{16} d$.



$$\begin{aligned}
 S_4(e) &= 1^4 & S_8(e) &= (12)^4 & S_{16}(e) &= 1212132121312123 \\
 S_{32}(e) &= 121231223(1213)^2 213221221313123 \\
 S_4(f) &= 1 & S_8(f) &= 11(21)^2 13 \\
 S_{16}(f) &= 11\bar{3}(122)^2 131(13)^2
 \end{aligned}$$

FIGURE 'REGIONS E AND F, WITH SOME OF THEIR BSHAPE NUMBERS'

The similarity tree that arranges these regions according to their likeness is given in the next page.

The degree of similarity between e and f is 4.

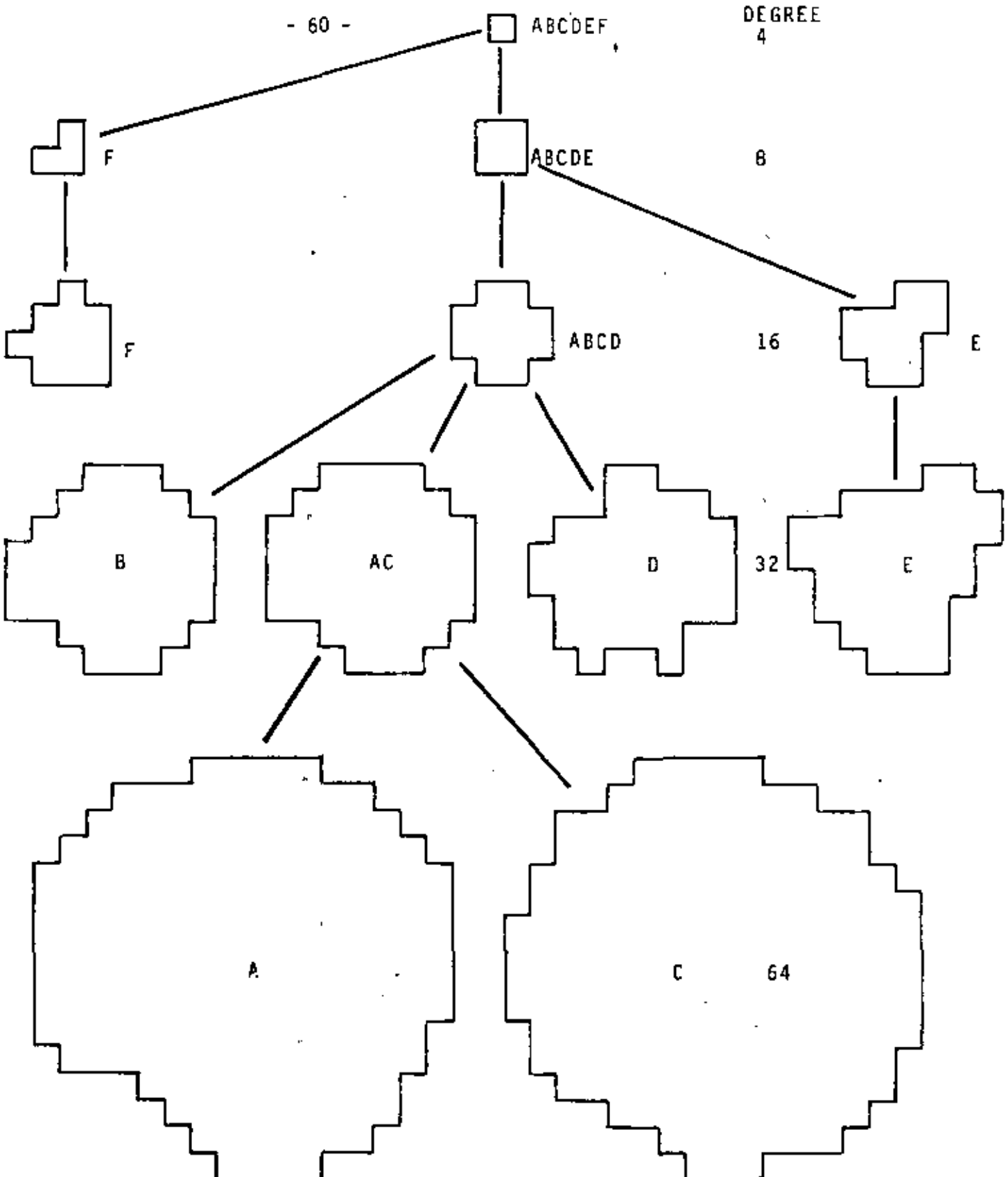


FIGURE 'SIMILARITY TREE FOR THE BSHAPES OF REGIONS A TO F'
These regions were shown in previous pages. The tree shows that the degree of similarity between B and E is 8, but between B and C is 16.

	A	B	C	D	E	F
A	∞					
B	16	∞				
C	32	16	∞			
D	16	16	16	∞		
E	8	8	8	8	∞	
F	4	4	4	4	4	∞

TABLE 'SIMILARITY MATRIX FOR THE BSHAPES OF REGIONS A-F'

Notice that $a \approx_{16}^d$, $c \approx_{16}^d$ but $a \approx_{32}^c$.

	A	B	C	D	E	F
A	0	1/16	1/32	1/16	1/8	1/4
B		0	1/16	1/16	1/8	1/4
C			0	1/16	1/8	1/4
D				0	1/8	1/4
E					0	1/4
F						0

TABLE 'DISTANCE MATRIX FOR BSHAPES OF REGIONS A TO F'

A and C are very close together (1/32) in Bshape. The region F is quite dissimilar (1/4) in shape to all others.

K = 4
CLASS 1: ABCDEF

K = 8
CLASS 1: F
CLASS 2: ABCDE

K = 16
CLASS 1: F
CLASS 2: ABCD
CLASS 3: E

K = 32
CLASS 1: F
CLASS 2: B
CLASS 3: A C
CLASS 4: D
CLASS 5: E

TABLE 'EQUIVALENCE CLASSES FOR BSHAPES OF A TO F'

The relation "x is similar to y at degree at least k (k fixed)" (i.e., they are similar at $k+i$, $i \geq 0$) forms the above equivalence classes. Notice that each k partitions the set of shapes in different manner.

The relation "x is similar to y at degree k (k fixed)" is not an equivalence relation.

6. Write a procedure to find the excentricity and basic rectangle from the shape number.
7. A better method is needed to encase the perimeter (region) into a box. Noise could introduce errors in length and position [Guzmán 71; Bribiesca and Guzmán; Freeman and Shapira].
- 8.A. Refer to problems 1 and 2 of first theory. Of course, given an order (30, say) it is possible to find the best shape number of that order that fits the region, by comparing, in the least squares sense, the region with all the shapes of such number. In this way the existence of a shape number for any order and any region could be guaranteed. I suggest to look for a procedure that avoids many comparisons but still gives back the shape number of order 30. This new method could be slower, since it will be used only when the normal procedure fails. But beware of the fact that this method could produce different shape numbers than those produced by the procedure used in the paper. Both methods are not equivalent.
- 8.B. In order to make the loops vanish, do not use all orders. For instance, use only orders 4, 6, 8, 10, (this will make all loops of length 2 disappear), ..., or even non-linearly spaced: 4, 6, 10, 16, 24, ...
9. Apply these theories to clustering. Do you want to group 200 figures into 24 classes, according to their shape? Construct their similarity tree, and cut it at a level such that the number of branches cut at that level is approx. 24. You could answer relative likeness questions such as: "Is the difference between a and d larger than the difference in shape between e and f?" The answer could be: "yes, because $a \approx_{10} d$ and $e \approx_{14} f$." e and f went together longer; They needed a stronger lens (of order 16) to separate them.

REFERENCES

- [1] ADLER, M.R. "Computer interpretation of PEANUTS cartoons" In Proceedings of the 3rd International Conference on Artificial Intelligence. Stanford, University, 1977:608-609.
- [2] ATTNEAVE, F. "Informational aspects of visual perception" En Psychology review. 1954, 61:183-193.
- [3] BARRERA, R. et al. Detección y cuantificación de recursos agropecuarios mediante análisis por computadora de fotografías tomadas desde avión y satélite. México, IIMAS, 1976. (Comunicaciones técnicas, serie naranja ; 8, 157).
- [4] BRIBIESCA, E. y AVILES, R. Codificación en cadenas y técnicas de reducción de información para mapas y dibujos lineales. México, Centro Científico IBM de América Latina, 1974. (Reporte CCAL-74-7).
- [5] BRIBIESCA, E. y GUZMAN, A. "Shape description and shape similarity measurement for two-dimensional regions". In Proceedings of the 4th International Joint Conference on Pattern Recognition. 1978. (También publicado en: México, IIMAS, 1978. (Comunicaciones técnicas, serie naranja ; 166:PR-78-18))
- [6] BRYANT, N.A. "Tabular data base construction and analysis from thematic classified LANDSAT imagery of Portland, Oregon". In Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data. IEEE publication, 77CH 1218-7 MPRSD, 1977:313-318.
- [7] COMISION NACIONAL DEL ESPACIO EXTERIOR, S.C.T., MEXICO. Memories of the I Symposium of the use of data derived from ERTS. (In Spanish). México, 1975.
- [8] DAVIS, L.S. "Understanding shape: angles and sides". In IEEE Transactions on Computers, 1977, C-26, 3:236-242.
- [9] ERMAN, L.D. et al. "Systems Organization for speech understanding". In Proceedings of the Third International Joint Conference on Artificial Intelligence. Stanford, University, 1973:194-199.
- [10] FREEMAN, H. "Computer processing of line-drawings images". In Computing Surveys, 1974, 6, 1:57-97.

- [11] FREEMAN, H. y SHAPIRA, R. "Determining the minimum-area encasing rectangle for an arbitrary closed curve". In Comm. Ass. Comput. Mach., 1975, 18, 7:409-413.
- [12] GOMEZ, D. y GUZMAN, A. Digital model for three-dimensional surface representation. México, IIMAS, 1978. (Comunicaciones técnicas, serie naranja ; 167 : PR-78-19) Submitted to: Journal of Geoprocessing
- [13] GONZALEZ LOPEZ, J. Detección de las ondas Q, R, S, T, P, y V del electrocardiograma por medio de una computadora digital. México, Instituto Politécnico Nacional : ESIME, 1975. (Tesis. Ingeniero en comunicaciones y electrónica)
- [14] GUERRA, F. "Los rasgos tectónicos en las imágenes del ERTS-1. En CONEE. 1975:123-132.
- [15] GUZMAN, A. Proyecto P.R. Informe de actividades y logros. Etapa cero. México, IIMAS, serie naranja ; 109 : PR-75-2A)
- [16] GUZMAN, A. "Analysis of curved line drawings using context and global information". In Machine Intelligence VI. 1971
- [17] GUZMAN, A. y MCINTOSH, H.V. "CONVERT" In Communication Association Computer Machinery. 1966,9,8:604-615.
- [18] HERNAN, G.T. et al. "Rapid Computerized Tomography". In Proceedings of the Medical Data Processing Symposium. 1976.
- [19] KANIELSOON, D.E. "A new shape factor". In Computer Graphics and Image Processing, 1978, 7, 2.
- [20] KETTIG, R.L. y LANDGREBE, D.A. "Classification of multi-spectral image data by extraction and classification of homogeneous objects". In Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data. IEEE Publication No. 75 CH 1009-O-C, 1975:2A1-2A11.
- [21] MACDONALD, R.B. y HALL, F.G. "LACIE: A look to the future". In Proceedings of the 11th International Symposium on Remote Sensing of Environment. 1977:429-465.
- [22] MANCILLAS, G. Citric Tree Diseases. Universidad de Nuevo León: Departamento de Matemáticas, 1976.
- [23] MINSKY, M.L. y PAPER, S.A. Perceptrons. Cambridge, Mass., M.I.T. Press, 1969.

- [24] MURAI, S. "Evaluation of land use and its color representation in Tokyo districts with Landsat digital data". In Proceedings of the 12th International Symposium on Remote Sensing of Environment. 1978.
- [25] O'CALLAGHAN, J.F. "Computing the perceptual boundaries of dot patterns. In Computer Graphics and Image Processing", 1974, 3:141-162.
- [26] PAVLIDIS, T. "A review of algorithms for shape analysis". In Computer Graphics and Image Processing, 1978, 7, 2.
- [27] PEUCKER, T.K. Computer Cartography. Washington, D.C., Association of American Geographers, 1972. (Resource paper ; 17).
- [28] ROBERTS, L. "Machine Perception of three-dimensional solids". In Computer Methods in Image Analysis. IEEE Publication No. 0-87942-090-1, 1977:285-323.
- [29] ROSENBLATT, F. Principles of Neurodynamics, and the Theory of Brain Mechanics. Washington, D.C. Spartan Books, 1962.
- [30] SALAS, G.P. "Tectónica continental y procesos metalogénicos en la República Mexicana". In CONEE :225-238.
- [31] SECO, R. y LLERA, E. Detección por computadora de cuerpos de agua en fotografías del Valle de México, tomadas desde el satélite Landsat. México, IIMAS, 1975. (Comunicaciones técnicas, serie naranja; 12: PR-75-12).
- [32] SELZER, R.H. et al. "Computer Analysis of cardiovascular imagery". Proceedings of the Caltech/JPL Conference on Image Processing... for commercial and scientific applications. (Publication JPL 5P 43-30).
- [33] STEEL, R.E. Delta Modulation. Halsted Press Book. 1975.
- [34] WRIGHT, D., LANGER, D. y MICHAEL, J. "Digital Processing of infrared scanner data for radiometric temperature analysis of thermal plumes". In Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, IEEE Publication No. 75 CH 1009-0-C. 1975:231.

ADDENDUM

Ref. "Equivalence relations for shapes", page 46.

1. The relation " f_1 and f_2 have a degree of similarity equal to K " implies that

(a) for all $j \leq K$, the shape number of order j of f_1 is equal to the shape number of order j of f_2 ; and

(b) for all $j > K$, the shape numbers of order j of f_1 is different from the shape number of order j of f_2 .

2. The relation " f_1 and f_2 have a degree of similarity of at least K " implies only (a) above.

Ref. page 43.

The phrase "Any region is similar to any other at degree 4" becomes clearer when expressed as "any two regions have a degree of similarity of at least 4".

Ref. page 45. "Shown" instead of sown.

Ref. page 48, case 1. K_{bc} instead of K_b . (in the drawing).

Ref. page 51, caption to table. The caption should begin:

The relation " x has a degree of similarity with y of at least K (K fixed)" (i.e., their shape numbers of order j ($j \leq K$) are equal: $S_j(a) = S_j(b)$) forms the above equivalence classes.

Notice that....

SHAPE DESCRIPTION AND SHAPE SIMILARITY MEASUREMENT
FOR TWO-DIMENSIONAL REGIONS

Ernesto Bribiesca
Depto. Investigación
CETENAL (Mexico)

and

Adolfo Guzmán
Computer Science Dept., IIMAS
National University of Mexico

Abstract

We analyze the forms or shapes of flat regions limited by simply connected curves. A procedure is given that deduces from every region a unique number (its shape number) independent of translation, rotation and scaling.

The precision in the representation of the shape of a region by one of its shape numbers is indicated by the order of that shape number; high orders are more accurate for shape description. Informally, the number of ternary digits of a shape number will tell its order. The paper contains tables of all the shape numbers of order k , for several k . Nevertheless, these tables are not necessary for computing the shape number of a region. The shape number of any order can be deduced solely from the region; no shape matching, comparison or table lookup is necessary.

We then introduce the degree of similarity between the shapes of two regions and give an algorithm for computing it from the corresponding shape numbers. Two regions with shapes that look alike will have a high degree of similarity. No string matching or grammatical parsing is necessary to find out how close in shape two regions are. Informally speaking, the degree of similarity between the shapes of two regions is the highest optical resolution (power of the magnifying lens) that still confuses them. We then define the distance between two shapes and find it to be an ultradistance.

In this way, a quantitative study of shape is possible.

Finally, a related Theory "B" of shapes is presented that disregards the excentricity of a region and offers additional advantages for shape comparison.

Key words: chain encoding; shape numbers; figure description;
discrete shapes; shape representation; similarity of
forms; shape comparison; distance between forms.

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

Scene Analysis seeks to understand a scene, for instance by assigning names to its different parts and components as well as by explaining their relations and structures.

Local and global information [3], that is, shape and context, play an important and mutually supporting role in Scene Analysis. If we look at scenes found in coloring books for children (Fig. 1, 'STREET SCENE'), the explanation (name, purpose, role) of each part is derived both from its shape and from the context, that is to say, from the names of the parts close to it.

The role of shape in Scene Analysis

Take Fig. 1 'STREET SCENE' which lacks color, texture, gray levels, and only has shapes, sizes and structure. One can still make a good "explanation" and understanding of it. Consequently, one of the authors has proposed [3] to represent explicitly these three components, for instance by a graph where the nodes contain shape and size information about each region, and the arcs represent different relations ("above," "between," "surrounded by") among the nodes.

It is therefore necessary to be able to describe the shape of an object (part, region); to compare shapes; to decide how close two given shapes are, or what is their resemblance or dissimilarity. A numerical reliable measure for these concepts will give rise to a quantitative study of shape.

Definitions

Region. A simply connected portion of a plane limited by a curve boundary. That is, no holes, no self-intersecting boundary. Closed boundary. The region is uniquely defined by the curve it has as boundary.

This paper deals with shapes of regions, but the shape numbers used here can also be applied to open curves.

Freeman chain in four directions. For a given region and a given square grid of fixed orientation and size, the Freeman chain in four directions is the curve obtained by walking clockwise on the grid (on the "wires"

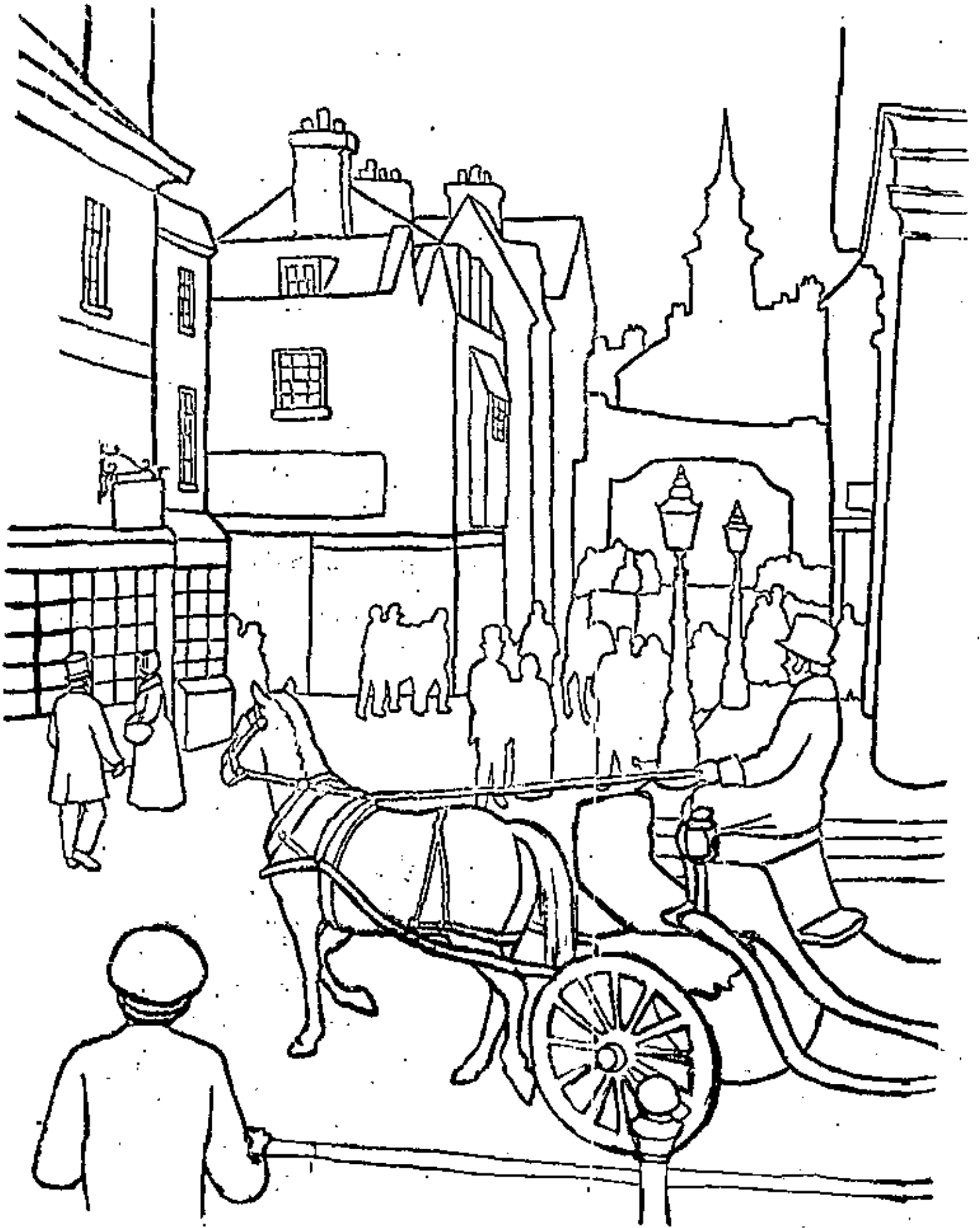


FIGURE 1 'STREET SCENE'

Each closed part (region) of this scene could be described by a unique shape number.

of the grid) around and outside the squares that contain more than 50 % of the region (Fig. 2).

The chain number (Fig. 2d) is obtained by clockwise replacing each step along the curve by the number 1, 2, 3 or 4, according to Fig. 2e. See suggestions 1 and 2 at the end of the paper.

Sometimes this procedure will break thin portions of regions and one will end up with two non-connected chains. These are degenerate regions for that grid, which have no shape numbers (q. v.) (Fig. 8.II).

Derivative of Freeman chains. It is the chain number (Fig. 2f) obtained by clockwise replacing each salient (convex) corner of the Freeman chain (Fig. 2c) by a 1, each straight corner by a 2, and each concave corner by a 3, as figure 3g suggests.

The number obtained (Fig. 2f) will be different if we change the size or orientation of the grid.

Major axis of a region. The straight line connecting the two perimeter points furthest away from each other (Fig. 3b).

Occasionally, there will be more than one major axis in a region. In that case, select that which gives the shortest minor axis.

Minor axis of a region. A segment perpendicular to the major axis, and of length and position such that the box formed by these two axis just encloses the region (Fig. 3a).

Other axis for similar purposes are given in [3], pp 338-342, and in [2].

Basic rectangle of a region. It is the rectangle having its sides parallel to and of sizes equal to the major and minor axis, such that it just encloses the region (fig. 3d).

Excentricity of a rectangle. It is the ratio of the long to the short side. $e \geq 1$.

Excentricity of a region. It is the excentricity of its basic rectangle. It is the ratio of its major to minor axis. This definition coincides with that for an ellipse.

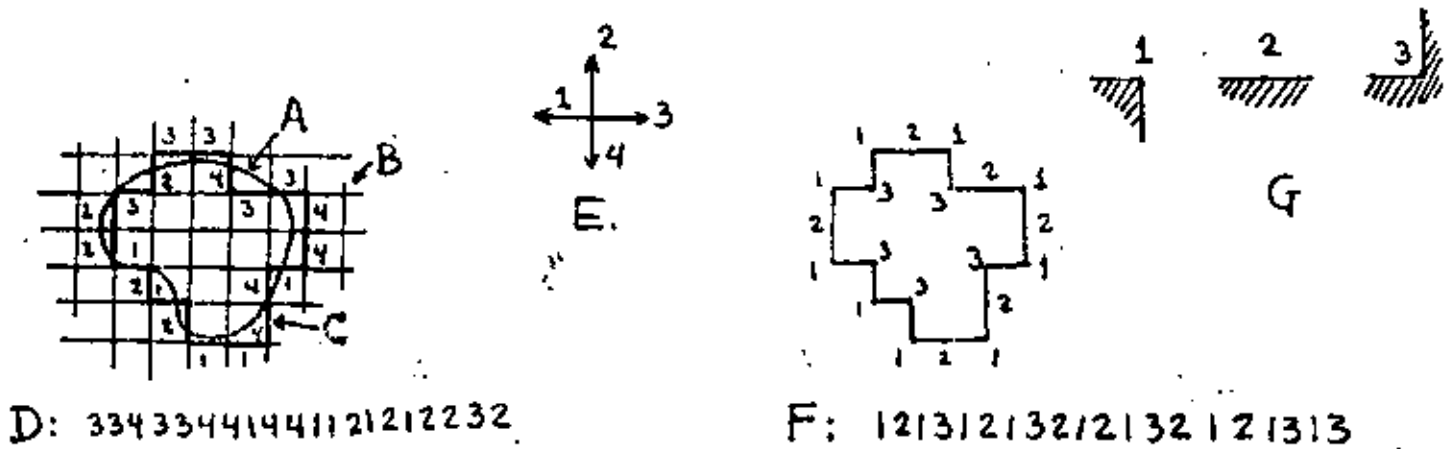


FIGURE 2 'CHAINS'

a: the region. b: the grid. c: the Freeman chain in four directions.
 d: its chain number. e: the four directions of (b) used to code (c)
 into (d). f: the derivative of (c). g: the three types of corners
 used to code (c) into (f).

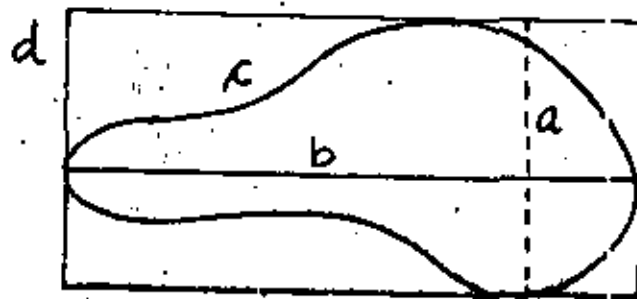


FIGURE 3 'DEFINITIONS'

a: minor axis of (c). b: major axis of (c).
 c: region. d: basic rectangle of (c).

THE SHAPE NUMBER OF A REGION

If a notation is going to be used to represent the shape of a region, it has to be independent of the position, orientation and size of such region. It should be reproducible: a region, when translated, magnified and rotated should still give the same description as when untransformed. Two regions with different shapes should produce different descriptions. Finally, the shape number should be unique for a given region; for instance, it should not depend on an arbitrary starting point or a particular coordinate system.

If the notation can be deduced exclusively from the region, without comparison with a table of canonical shapes or shape descriptors, for instance, then we can expect savings in memory and computer time for the procedure that finds out the shape description.

In this section, we first produce finite families of shape descriptors (every member of a family has the same order); we then exhibit a way to find out, for an arbitrary region, its shape descriptor of any order. This descriptor indeed qualifies as a notation to represent shape.

In the next section we will see that this descriptor also permits to measure the similarity or analogy between the shapes of two regions.

Discrete shapes

Regions of special interest are created when it is required to form a closed curve using n sticks of the same length, but joining them end to end either colinearly or forming 90° corners. It is clear that n must be even for the curve to close.

For instance, with 8 sticks you could form only the following regions: the square (of size 2 by 2, Fig. 4a), the triangle (Fig. 4b) and the rectangle (Fig. 4c).

The shapes of these regions are called discrete shapes.

The shape number of a discrete region (that is, of a region having a discrete shape) is obtained from that region by clockwise replacing each salient corner by a 1, each straight corner by a 2, and each concave corner by a 3 (See Fig. 2g). Moreover, in order to obtain a



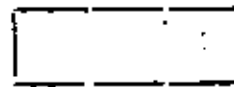
a

12121212



b

11212113



c

11221122

FIGURE 4 'ALL THE DISCRETE SHAPES OF ORDER 8'

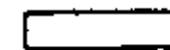
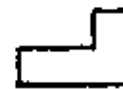
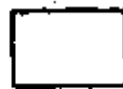


FIGURE 5 'ALL THE DISCRETE SHAPES OF ORDER 10'

unique shape number, we start the procedure in the corner that produces a string (of 1, 2 and 3's) of minimum value.

For instance, the shape number of figure 4 is 11212113, which was obtained by starting in the upper central salient corner and travelling clockwise (first right and then down). Had we started in the lower left corner, we would have obtained 11311212 which is rejected because its value (as a ternary number) is larger than 11212113.

The shape number of a discrete shape does not depend on a grid of fixed orientation or size; it can be derived directly from the region. It differs in this manner from "derivative of Freeman chain."

The shape number of a discrete shape is unique. It does not depend on its position, size or orientation.

The order of a shape number is the number of ternary digits it has. It is therefore equal to the number of corners (of types 1, 2 and 3 in Fig. 2g) that the discrete shape has.

It is also the number of sticks (segments of equal length) present in the discrete shape. It is always even. It is equal to the perimeter of the region.

All the discrete shapes of order 4

There is only one discrete shape of order four, the square. Its shape number is 1111.

This is the most primitive or fundamental shape. Imagine you are looking at things very far away; you can not really differentiate much. All objects would look round (square, in this paper) and equal.

All the discrete shapes of order 6, 8, 10 and 12

There is only one discrete shape of order 6, the rectangle with shape number 112112.

The three discrete shapes of order 8 are given in Fig. 4. Here the triangle appears for the first time.

The nine discrete shapes of order 10 are given in Fig. 5; those of order twelve are in Fig. 6. They are 36.

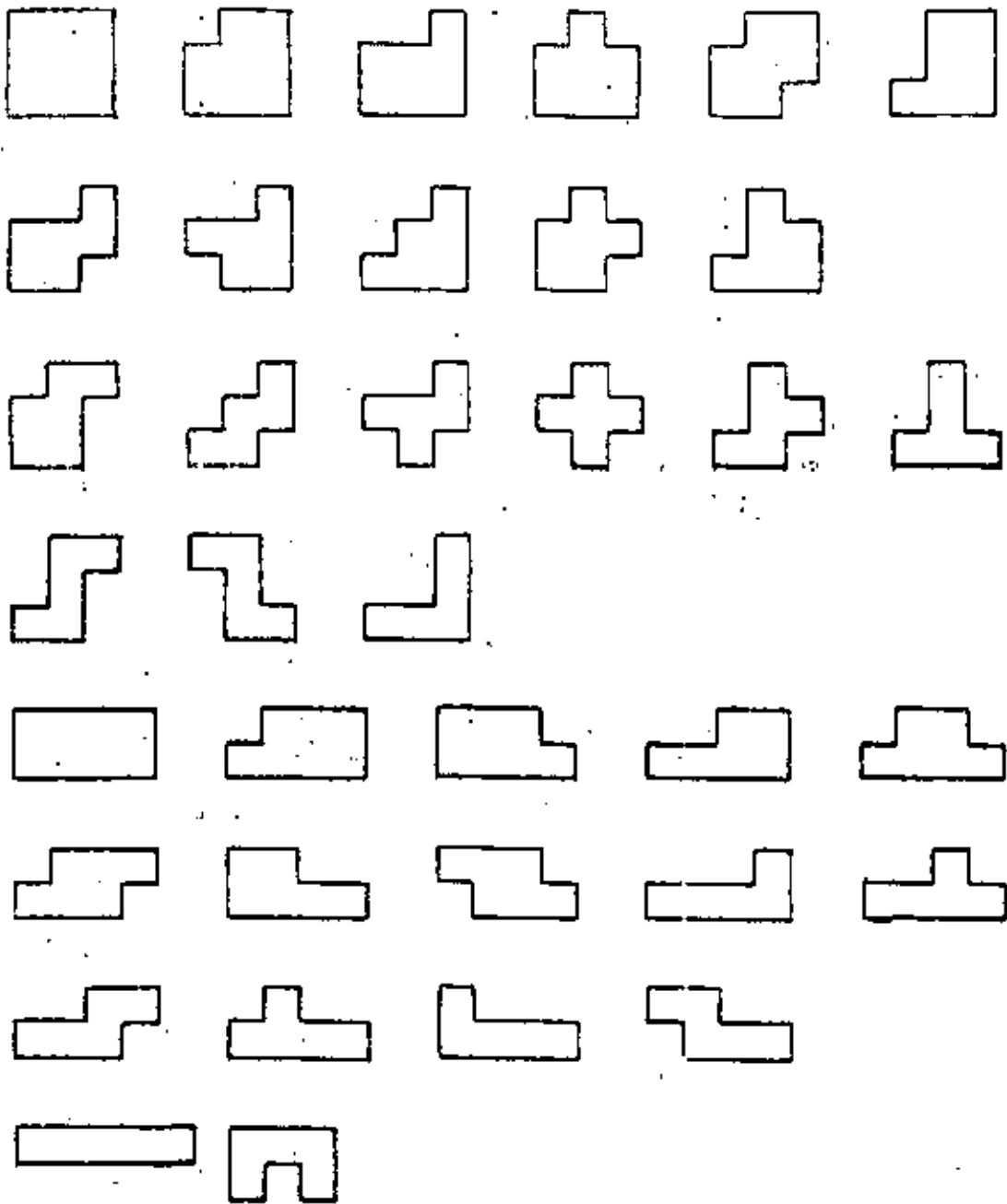


FIGURE 6 'ALL THE DISCRETE SHAPES OF ORDER 12'.
The order of a shape indicates the number of sticks that
are used to form it.

The discrete shape of a region

In order to find out the shape number of order o for an arbitrary region (and not just for the regions having discrete shapes), it is now only necessary to associate in some manner to that region a discrete shape, and then to give the shape number of that discrete shape to the region itself.

One way to proceed would be to compare (for instance, the areas in the least squares sense) that region with every discrete shape of order o (retrieved from a table such as Fig. 5) [6], and to select the discrete shape having the best fit (smallest error, best correlation).

Other way is given below, preferred because it does not use table lookup, back-tracking, error computation or pattern matching in the CONVERT [4] sense: we do not need to find out what is the distance or error between 11212113 and 12121212, for instance.

To find the shape number of order o of a region:

1. Find out the basic rectangle and the excentricity of the region.
2. Select the rectangle with shape number o and excentricity closest to e . Align and center this rectangle over the basic rectangle of the region, thus defining a grid over the region.

The orientation of the grid follows the basic rectangle, and the size of the grid is such that (a) every cell of the grid is a square, and (b) the basic rectangle has a shape number of order o for such grid. Already positioned, the rectangle selected in this step closely coincides with the basic rectangle.

In practice, we have found better not to approximate the excentricity, but the sides of the rectangle instead. That is, select a rectangle with long side closest to $y = (b/2)(e/1+e)$.

3. Mark with a 1 each cell of the grid of step 2 that is more than 50% contained in the region.

The collection of grid squares containing a 1 forms a discrete shape.

4. Find the shape number of the discrete shape of step 3, and give that as answer (but see discussion below).

An example is given in Fig. 7 'FINDING THE SHAPE NUMBER.'

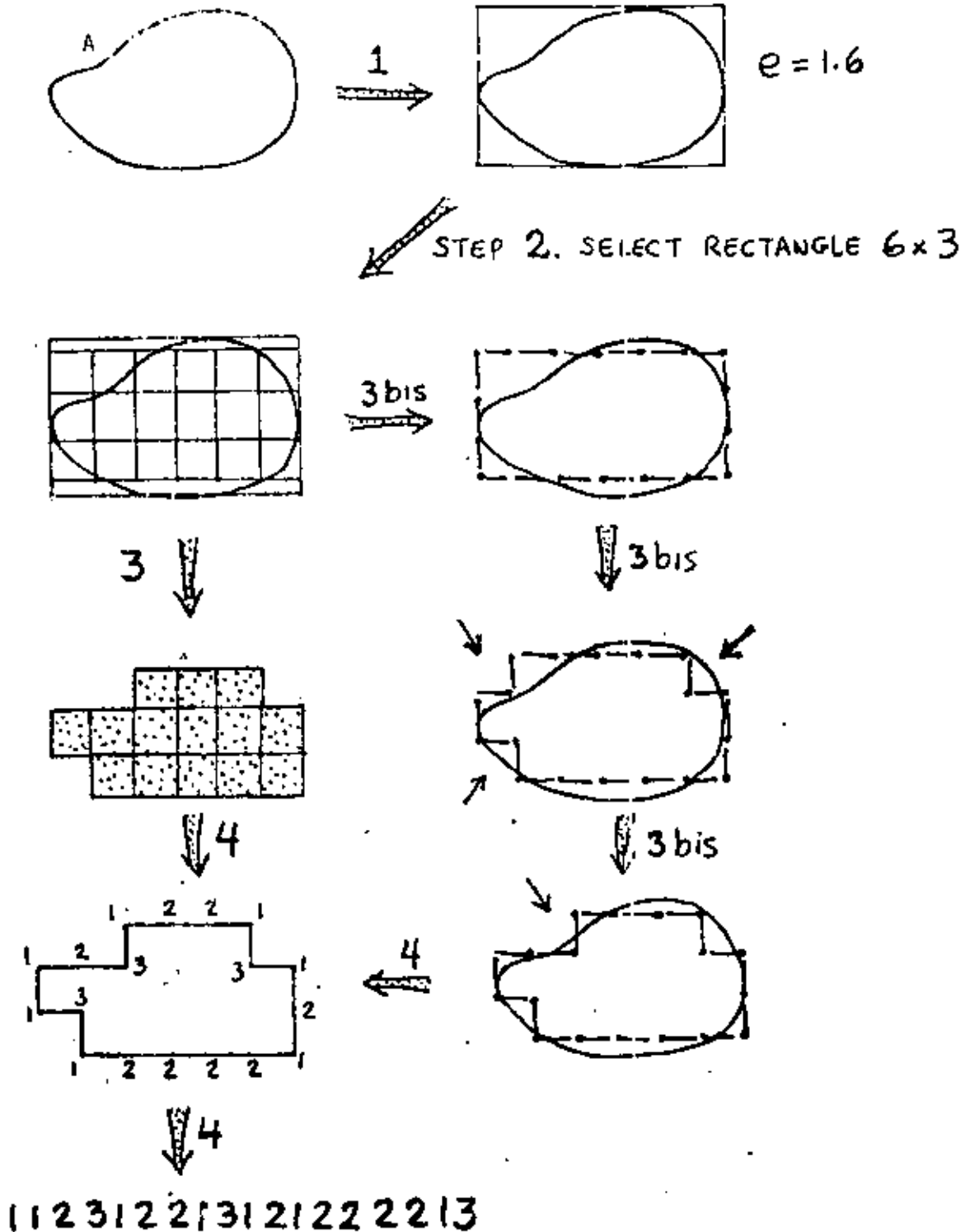


FIGURE 7 'FINDING THE SHAPE NUMBER'

The shape number of order 18 of region A is desired. The answer is 112312213121222213. The main procedure is through steps 1,2,3,4. Step 3bis is a (long) step that can be taken instead of step 3. See text.

Each figure carries its own shape number "within it."

Is the shape number found in step 4 indeed of order o ? The crucial step is 3 above. The answer is discussed after an alternative step 3.

3bis (variant). On the perimeter of the square selected in step 2, place o sticks on the "wires" of the grid. Looking at each corner (of type 1 in Fig. 2g) of these sticks, push it and make it become a corner of type 3 if it surrounds a cell of the grid filled less than 50% with the region. Keep pushing corners (see Fig. 7, steps 3bis) until no further progress is possible. (Then go to step 4 above). This step 3b could be taken instead of step 3.

It is clear that this step does not alter the order of the shape number, since the number of sticks does not change.

What could increase the number of sticks (the length of the perimeter) is a depression in the boundary, because (Fig. 8) in order to sink stick a to position b we need two extra sticks. In this case we end up with a shape number of order $o+2$, or in general of order $o + 2d$, where d is the depth of the depression.

The way to correct this anomaly is to begin step 2 by selecting a rectangle not of order o (because we have just found that o produces a shape number of order $o + 2d$) but of order $o - 2d$, and then the depression will add $2d$ sticks to it, obtaining a shape number of the correct order.

Since a depression changes depth as the size of the grid varies, we may have to try step 2 with rectangles of order $o-2d$, $o-2d+2$, ..., $o-2$, until we find the shape number of order o .

Informally speaking, the order of the shape number is the degree of resolution being used to encode the shape.

The eccentricity of the shape is important. It is a shape parameter coarser than the shape number. Two shapes of order o with basic rectangles of different eccentricities can not be equal. The basic rectangle and the eccentricity can be directly computed from the shape numbers (suggestion 6).

Degenerate regions. If the grid size is too large for some parts of a region, there will be totally blank squares that break the discrete shape into two or more pieces. Then the shape number of that region does not exist for that order. This is not an anomaly, but it is giving information regarding the minimum size grid for which a shape number makes sense (Fig. 8-11).

Meaningful shape order. A region with a very ragged and twisted perimeter will "demand" a higher order for a proper description than a region with smooth boundary; it expects more accuracy, because of its higher information content. [1] measures this appropriateness, also related to degenerate regions.

THE DEGREE OF SIMILARITY BETWEEN THE SHAPES OF TWO REGIONS

The shape number of a region enables us to find out instances of a given shape, even when distorted by enlargement or rotation. It answers the question "Have these two regions the same shape?", up to an order o .

In practice, however, a shape rarely repeats itself, due to noise and the allowable variations (for instance, ten silhouettes of apples have similar but not identical shapes). The relevant questions to answer are "How much different are these two forms?", "How much do these two shapes resemble each other?", "Is region A closer in shape to B, or to C?". This section gives a procedure to quantitatively answer these questions.

When the shapes of two regions A and B are compared, we can notice that the shape of order 4 of A, $s_4(a)$, is equal to 1111 (the only shape of order 4), and is therefore equal to $s_4(b)$.

Also $s_6(a) = s_6(b)$; probably $s_8(a) = s_8(b)$. It is likely that their first few shape numbers be identical. The reason is that the discrete shapes are coarse and not varied at low orders, where the "resolution" is low.

Nevertheless, most likely $s_{100}(a) \neq s_{100}(b)$, also $s_{98}(a) \neq s_{98}(b)$, etc. This is expected, because, due to the finer precision at higher orders, there exists a large variety of shapes, thus the discrimination between A and B is more demanding.

Of course, if A and B were very similar (but not identical), one could need to go up to say 170 to find that $s_{170}(a) \neq s_{170}(b)$. On the other hand, if they are visibly different (not alike at all), already at order 10 we will be having $s_{10}(a) \neq s_{10}(b)$.

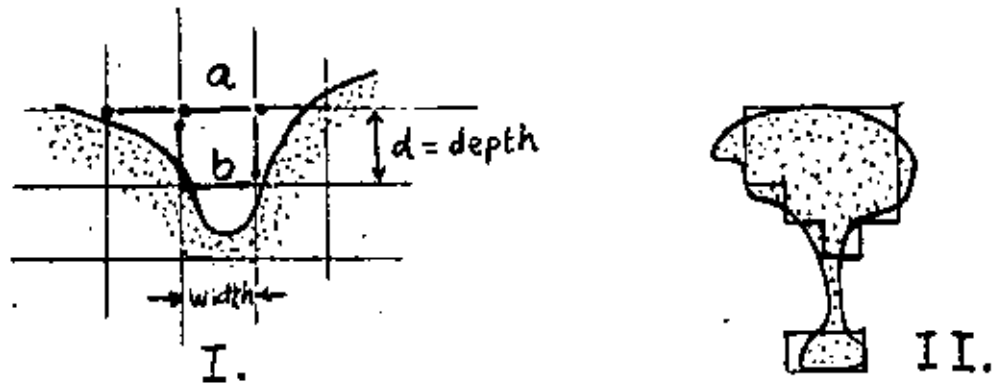


FIGURE B HOLES AND DEGENERATE SHAPES'

- I: A depression of depth d increases the shape number by $2d$.
- II: Degenerate regions split the discrete shape but do not have a shape number at this order.

Thus, as we increase the order o of the two shape numbers $s_o(a)$ and $s_o(b)$, they begin being equal but at some order they become different from that point on. How deeply they remain equal gives us an idea of the similarity between the shapes of a and b .

Degree of similarity k between the shapes of two regions a and b : It is the largest order for which their shape numbers still coincide.

That is, it is the largest m for which $s_m(a) = s_m(b)$, but $s_{m+i}(a) \neq s_{m+i}(b)$ for all i greater than 0.

That is, we have $s_4(a) = s_4(b)$, $s_6(a) = s_6(b)$, $s_8(a) = s_8(b)$, ..., $s_k(a) = s_k(b)$, $s_{k+2}(a) \neq s_{k+2}(b)$, $s_{k+4}(a) \neq s_{k+4}(b)$, ...

If a and b are regions with degree k of similarity, we write $a \approx_k b$.

Example. For the figures of Fig. 9 'DEGREE OF SIMILARITY' we have for figures a , b and c :

$s_4(a) = 1111$	$s_4(b) = 1111$	$s_4(c) = 1111$
$s_6(a) = 112112$	$s_6(b) = 112112$	$s_6(c) = 112112$
$s_8(a) = 11221122$	$s_8(b) = 12121212$	$s_8(c) = 12121212$
$s_{10}(a) = 1122211222$	$s_{10}(b) = 1131212122$	$s_{10}(c) = 1212212122$
$s_{12}(a) = 112221131213$	$s_{12}(b) = 121221221213$	$s_{12}(c) = 121222121222$
$s_{14}(a) = 11222211231132$	$s_{14}(b) = 12121312212123$	$s_{14}(c) = 11312212212213$

Therefore, a and b have a degree of similarity equal to 6: $a \approx_6 b$.

a and c have a degree of similarity equal to 6, written $a \approx_6 c$.

b and c have a degree of similarity equal to 8, written $b \approx_8 c$.

This is represented both as a similarity tree (Fig. 9b) and as a similarity matrix (Fig. 9c) where other regions were also included.

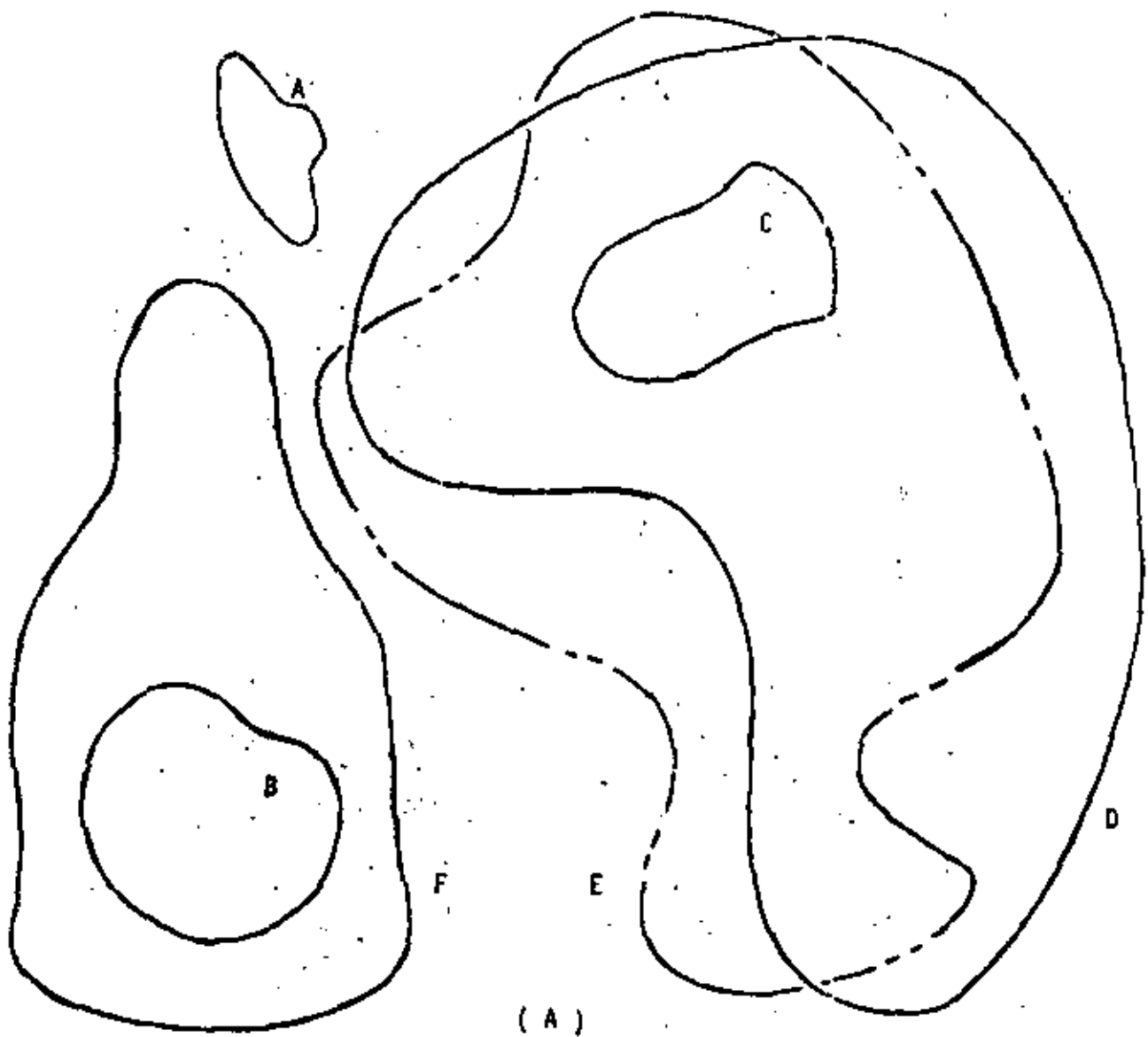
The similarity matrix is symmetrical; in fact, it is easily proved that, for arbitrary regions a and b ,

(1) (Thm.) The relation "a and b have degree k of similarity" (for a fixed k) is not an equivalence relation, but

(2) (Thm.) The relation "a and b have degree of similarity of at least k " (for a fixed k) is an equivalence relation.

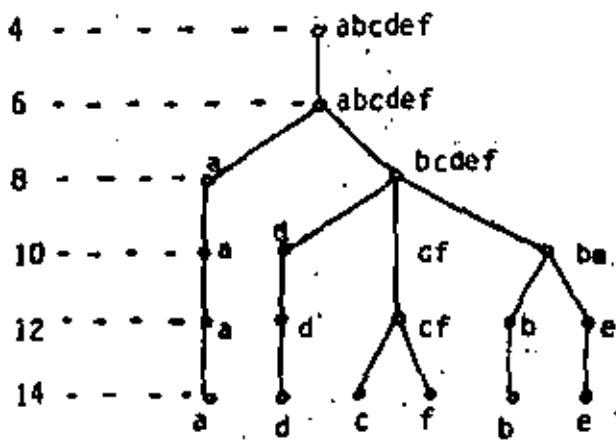
In fact, the equivalence classes of (2) for $k=10$ are nine, and a canonical shape for each of them is given in figure 5.

Informally speaking, the size (power) of the magnifying lens that barely confuses two regions gives the degree of similarity between such regions.



(A)

degree



(B)

	A	B	C	D	E	F
A	∞	6	6	6	6	6
B	6	∞	8	8	10	8
C	6	8	∞	8	8	12
D	6	8	8	∞	8	8
E	6	10	8	8	∞	8
F	6	8	12	8	8	∞

(C)

FIGURE 9 'DEGREE OF SIMILARITY'

(A) regions to be analyzed. (B) Similarity tree for (A).

(C) Similarity matrix for regions (A).

The shapes form a hierarchy, a tree with root at degree = 4.

We could see the whole procedure as follows: A number is associated to each one of two regions. If the numbers are equal, the regions have identical shape. If not, another pair of numbers is deduced, and so on until we find that the two numbers coincide. The number of stages needed is an indication of the dissemblance of the two shapes.

Remarks on the degree of similarity

No parsing is necessary. To find the degree of similarity between a and b, shape numbers are compared for equality. Two shape numbers of different orders are incommensurable (can not be compared, should not, need not).

Two shape numbers of the same order are either equal or different. If different, there is no need to compare "how close they are."

To find out the degree of similarity, a binary search is used: Is $s_g(a)$ equal to $s_g(b)$? Then compare at order 100 (the highest). Then at the middle. Then at the middle of the remaining valid half. And so on. A modified binary search [5] is better.

Wheatstone Bridge: In this old instrument to measure the value of resistances, an amperimeter says whether a current is zero or not. But this amperimeter does not measure the resistance itself; it only says: "current is zero. Stop!" Then the value of the resistance is obtained by a formula that does not involve the current (because it is zero). Naturally, it does not need to be a high precision amperimeter.

In our case; the degree of similarity is not given by the shape numbers comparison test. It is given by a process that uses the comparison test.

Temperature readings. If the degree of similarity between a and b is 14, and that between c and d is 28, you can conclude that c and d are closer to each other than a and b. But we can not conclude that c and d are "twice as close in shape" as a and b. This is like the temperature: a body at 80°C is not twice as hot as one at 40°C (if you do not believe it, convert them to °F, or to °K). But see suggestion 9.

Ultradistance. If we define the distance between two shapes a and b to be the inverse of their degree of similarity, then we could easily prove that this is not only a distance, but it is also an ultradistance: it obeys $d(a,c) \leq \sup (d(a,b), d(b,c))$ in addition to the less demanding condition $d(a,c) \leq d(a,b) + d(b,c)$.

Comments on this theory of shapes

Shape numbers are not invariant under (1) reflections (mirror images); (2) skewing, where the figure is distorted by changing the angle between x and y ; (3) unequal expansion, that is $X' = \zeta_1 x$, $Y' = \zeta_2 y$, with $\zeta_1 \neq \zeta_2$. This transforms a circle into an ellipse.

These transformations (1)-(3) alter what could be considered the (intuitive) shape of a figure. At the end of the paper a "Theory B" of shapes is presented, where condition (3) is violated, and therefore all circles and ellipses, disregarding size, excentricity, orientation, have the same Bshape numbers:

Problems with this theory of shapes

1. Occasional loop in the similarity tree. Due to noise or the 50% requirement for quantization, and at low orders, sometimes it is observed a transitory divergence and then convergence in the shapes of two regions, v. gr., $s_8(a) = s_8(b)$, $s_{10}(a) \neq s_{10}(b)$, $s_{12}(a) = s_{12}(b)$, $s_{14}(a) \neq s_{14}(b)$, $s_{16}(a) \neq s_{16}(b)$, ... I.e., they were already different at order 10, but they are again equal at order 12 (however, only to separate soon forever). This still gives a unique shape number for a region, but makes the definition of the degree of similarity less attractive, and the procedure to find it, unreliable.

Only loops of size 2 (such as the example given) have been found, infrequently.

A way to make these loops disappear is to ignore half of the orders, for instance those not divisible by four. Orders 4, 8, 12, 16, ... remain. All the loops of size 2 have vanished (suggestion 8b).

2. Non existent shape numbers. Shape number of order n may occasionally not exist for a given figure, due for instance to symmetrical holes of the type of figure 8.i. This does not bother the similarity procedure, but it is a nuisance not to have that shape number. See also suggestion 8a.

3. Quantization of the excentricity. For an object of excentricity 1.6 (Fig. 7), what rectangle will be used as the basis for computing its shape number of order 12? Will we use the 3 by 3 square ($e=1$) or the 4 by 2 rectangle ($e=2$)? An error will be committed in any case. You have to take one or the other. There seems to be no way out of this. See suggestion 5.

We now present a theory that has none of these problems.

THEORY "B" FOR SHAPE DESCRIPTION AND SHAPE COMPARISON

To obtain this new theory, we will make some changes to the old one:

1. Force the excentricity of any region to be equal to one, by performing an anisotropic dilation of its axis, $X' = \zeta_1 x$, $Y' = \zeta_2 y$. Now a circle and an ellipse will have the same Bshape; the Bshape of a rectangle will coincide with that of an square. As far as the discrete shapes, the only discrete Bshapes that now exist are those obtained from squares.
2. Do not go into depressions (fig. 8.1) with width smaller than the size of the cell of the grid. This avoids degenerate shapes (cf. also 'Reasonable shape numbers' above). That is, if a region is "scratched" by thin lines (thinner than the size of the grid) that belong to the background, either ignore them (act as if they were not there) or else, if they can not be ignored, this Theory "B" says that the size of this grid is inappropriate to describe such region, and that its Bshape number at this order does not exist.
3. Let these depressions (Fig. 8.1) generate Bshape numbers having a number of ternary digits larger than the expected order: That is, do not correct the anomaly that these depressions cause. The perimeter of the Bshape does not tell anymore its order.
4. Eliminate the orders that are not powers of two. The only valid orders for Bshape numbers are 4, 8, 16, ... These numbers still indicate the number of sticks to place around the basic square (remember, now a rectangle is converted first into a square) of the region (refer to step 3b of Fig. 7).

The procedure is the following:

To find the Bshape number of order $o = 2^n$ of a region:

1. Find out the basic rectangle of the region and convert it into a square.

Declare that the Bshape number does not exist, if the region has parts (necks, straights) or depressions (channels) narrower than 2^{2-n} or $4/o$.

2. Make a grid by dividing the side of the basic square into $o/4$ parts.
3. Mark with a 1 each cell of the grid of step 2 that is more than 50% contained in the region (step 3bis given above could also have been used instead of this step 3). The collection of grid squares containing a 1 forms a discrete Bshape.
4. Find the shape number of the discrete Bshape of step 3, and give that as answer, even if it has more than o ternary digits.

The order of a Bshape number is four times the number of parts into which the side of the basic square was divided. It is also the perimeter (measured by the number of sticks) of the basic square.

It is no longer the number of ternary digits of the Bshape number, nor the perimeter of the discrete Bshape.

The degree of similarity between the Bshapes of two regions is obtained as before. Definition unchanged.

Downwards constructability. Given the Bshape number of order o of a region, the Bshape number of order $o/2$ can be deduced from it, by regrouping appropriate sets of four neighboring cells into a cell for the lower order. Therefore, if two regions have the same Bshape number of order o , they will continue to have equal numbers of smaller order, until they cease to exist. This gets rid of problem 1 'occasional loops in the similarity tree' of the former theory.

Upwards existence. If the Bshape number of order o of a region exists, the existence of numbers for higher orders is guaranteed: (1) the inexistence of channels or isthmus of the region thinner than $4/o$ implies the inexistence of those narrower than $4/(o+i)$, for $i > 0$; and (2) wider depressions (wider than fig. 8.1) will produce valid parts of the Bshape number, although its number of digits may increase. This defeats problem 2 of the former theory, "non-existent shape numbers."

Finally, problem 3 of the former theory "quantization of the excentricity" is not present in Theory "B" because all excentricities are now equal to 1.

Nevertheless, we like more the former theory.

Disadvantage of Theory "B". Squeezing along one axis is now a valid (Bshape preserving) transformation. Thus, either your application does

not care for the excentricity or aspect ratio, or you carry it as another parameter, in addition to the Bshape number. I suppose you are going to be carrying other parameters of the region (length, orientation) anyway.

Also, more care needs to be exercised now when selecting the major and minor axis, to avoid noise perturbations (cf. suggestion 7).

Suggestions and recommendations for further work

1. Use other tessellations (triangles, hexagons) instead of the square grid. I would like to see the triangle and circle as primitive shapes at low orders.
2. Use eight directions for the sticks, not four. This will produce more shape numbers of a given order, thus making the tables of figures 4-6 larger. But this is safe because the deduction of the shape number does not involve table lookup or comparison with these canonical shapes.
3. Apply these theories to Scene Analysis of coloring books [3]; chromosomes; silhouettes of industrial parts on a conveyor belt; hand printed digits and zip codes; automatic taxonomy of shapes of shoes, airplanes, insects (their outline); texture description where the pictures are binary.
4. Extend these theories to shapes with holes inside them.
5. (Refer to problem 3 of the first theory and to step 2 of the procedure to find the shape number) a) Distort slightly the basic rectangle of the region, together with the region, so as to have it coincide exactly with the rectangle chosen in step 2: the grid is now of rectangles that are almost squares. b) Select in step 2 the rectangle of order o that minimizes the discrepancy between the areas of the region and of the rectangle.
6. Write a procedure to find the excentricity from the shape number. Hint: find the basic rectangle.
7. A better method to encase the region into a box is needed. Noise could introduce errors in length and position. Use the methods in [1-3].
8. (Refer to problems 1 and 2 of first theory): a) Of course, given an order (30, say) it is possible to find the best shape number of order 30 that fits the region, by comparing (in the least squares sense) the region with all the shapes of order 30. In this way the existence of a shape

number for any order and any region could be guaranteed [1]. I suggest to look for a procedure that avoids many comparisons but still gives back the shape number of order 30. This undiscovered method could be slower, since it will be used only when the normal procedure fails [6]:

b) In order to make the loops vanish, do not use all orders. Even more, space them non linearly: use only orders 4, 6, 10, 16, 24, ...

9. Apply these theories to clustering. Do you want to group 200 figures into 24 classes according to their shapes? Construct their similarity tree, and cut it at a level such that the number of nodes at that level is approx. 24. You could answer relative likeness questions such as: "Is the difference between a and d larger than the difference between e and f?" The answer could be: "Yes, because $a \approx_{10} d$ and $e \approx_{14} f$." e and f went together longer. They needed a stronger lens, of order 16, to separate them.

Acknowledgments

To the M.I.T. Artificial Intelligence Laboratory (Boston) and to the hospitality of Prof. Marvin Minsky. The programs were finished at the A.I. Lab during a summer visit.

To the Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications (Paris) and to Prof. C. Gueguen. This paper was finished by A.G. at ENST during a winter stay.

To IIMAS-UNAM (México) and to CETENAL (México), where the work was carried on.

References

1. Bribiesca, E., and Guzmán, A. Shape numbers: a rotation to describe pure form and to measure resemblance and likeness. Technical Report PR-78-18, April 1978. Computer Science Dept., UNAM, National Univ. of Mexico. This report does not have the 6000 word limit of this paper.
2. Freeman, H., and Shapira, R. Determining the minimum-area enclosing rectangle for an arbitrary closed curve. Comm. ACM 18,7,409-413, 1975.
3. Guzmán, A. Analysis of curved line drawings using context and global information. In Machine Intelligence VI (D. Michie and B. Meltzer, eds.) University of Edinburgh Press. 1971.
4. Guzmán, A., and McIntosh, H.V. CONVERT. Comm ACM 9,8,604-15, 1966.
5. Nadler, M., remarked at his Seminar on Pattern Recognition (IRIA, France, Feb. 78) that since it costs more to compare larger orders than smaller orders, do not compare at the middle point, but move instead towards the extreme with the cheapest test by an amount proportional to the ratio of high to low costs.
6. This method could produce different shape numbers than those found by the procedure described in the paper. Both methods are not equivalent.





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam.

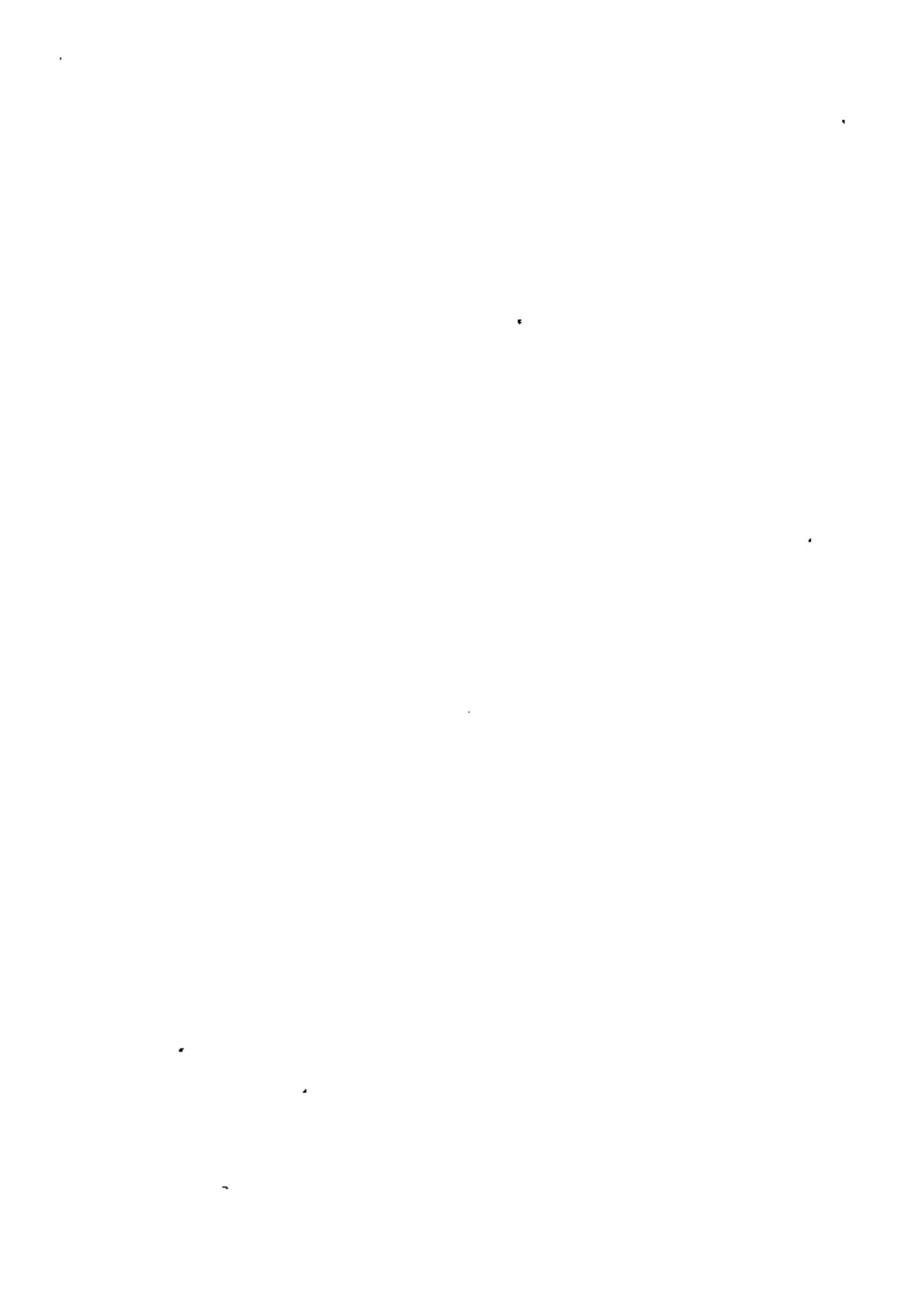


UTILIZACION DE LOS SENSORES REMOTOS EN LA PLANEACION
DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS

BASE GEOGRAFICA DE
D A T O S

ING. JOSE CABRERA MOLINA

MARZO, 1979



CONTENIDO

- I. DESCRIPCION GENERAL DE UTILIZACION DE BASES DE DATOS EN RELACION A LA PERCEPCION REMOTA.
- II. SISTEMAS DE INFORMACION
 - A. Introducción
 - B. Conceptos de Bases de Datos
- III. ESTRUCTURAS DE ALMACENAMIENTO
- IV. BASES DE DATOS
 - A. Enfoque jerárquico
 - B. Enfoque de redes
 - C. Enfoque relacional
- V. APLICACIONES PRACTICAS DE BASES DE DATOS
 - A. Desarrollo e implantación de una base de datos para el sector agropecuario en relación a percepción remota.
 - B. Otro tipo de aplicaciones

CONTENIDO

- I. DESCRIPCION GENERAL DE UTILIZACION DE BASES DE DATOS EN RELACION A LA PERCEPCION REMOTA.
- II. SISTEMAS DE INFORMACION
 - A. Introducción
 - B. Conceptos de bases de Datos
- III. ESTRUCTURAS DE ALMACENAMIENTO
- IV. BASES DE DATOS
 - A. Enfoque jerárquico
 - B. Enfoque de redes
 - C. Enfoque relacional
- V. APLICACIONES PRACTICAS DE BASES DE DATOS
 - A. Desarrollo e implantación de una base de datos para el sector agropecuario en relación a percepción remota.
 - B. Otro tipo de aplicaciones

I. DESCRIPCION DEL USO DE BASES DE DATOS EN RELACION A LA PERCEPCION REMOTA

En los últimos años se ha observado el desarrollo de la percepción remota como una herramienta de gran utilidad para el estudio de recursos naturales. Las primeras aplicaciones de este campo fueron básicamente de índole militar y cartográfica, cuando se empezaron a hacer reconocimientos aéreos de distintas áreas. Originalmente, las fotografías tomadas fueron en blanco y negro; posteriormente con el descubrimiento de la fotografía en color, se logró un gran avance al permitirse de este modo identificar más clases de objetos que con la fotografía común en blanco y negro. Más tarde, se empezaron a tomar fotografías en la banda infrarroja del espectro luminoso y de este modo se empezaron a captar en las imágenes detalles que con las técnicas anteriores no era posible detectar. Esto permite la obtención de fotografías en varias bandas del espectro, lo que aumenta las posibilidades de la percepción remota. Hasta esta etapa de desarrollo, se seguían teniendo problemas de proceso fotográfico y de revelado, y fue entonces cuando se diseñaron los primeros barredores multiespectrales, que proporcionan una representación de las imágenes en forma electrónica, y por lo tanto susceptible de ser digitalizada. De este modo se inicia la aplicación del procesamiento electrónico a imágenes proporcionadas por sensores remotos.

Finalmente, el último gran avance de la percepción remota es el lanzamiento de

los satélites LANDSAT, que permite desarrollar las técnicas de percepción remota de una manera masiva ya que se pueden obtener imágenes de una misma zona con bastante frecuencia (cada 18 días), y con la gran ventaja de que las imágenes son tomadas exactamente a la misma hora.

En base a lo anterior, surge la necesidad de procesar y almacenar información de una manera ordenada y eficiente, y que al mismo tiempo sea fácil y rápida de acceder para poder obtener resultados útiles en relación a la información de que se dispone. Esto sugiere el diseño y construcción de una base de datos sofisticada en la que se pueda manejar la información de satélite, así como otro tipo de información relacionada con la zona en estudio (información socioeconómica, división política, cartas de climas, etc.), lo cual permite el desarrollo de un análisis sumamente detallado de las características y usos del suelo en cada región del país en cualquier época del año.

La percepción remota, en general, no proporciona resultados absolutos y completamente uniformes; por el contrario, los resultados generados presentan zonas en las que es difícil emitir un juicio en relación al uso y características del suelo, ya que en realidad no se tienen los elementos suficientes para llegar a alguna conclusión. Es precisamente en estos casos cuando la base de datos mencionada anteriormente tendrá una gran utilidad.

El hecho de poder tener distintos tipos de mapas almacenados en el sistema de información permitirá realizar una interacción muy interesante en relación a los mapas digitales generados por sensores remotos. Por ejemplo, con el auxilio de mapas de pendientes del suelo para la región de interés, podrían descartarse posibilidades en relación a las planteadas por el estudio realizado utilizando percepción remota. En el caso del mapa mencionado, si en el análisis de alguna imagen de satélite se tiene una duda entre la detección de sorgo y trigo, y se sabe que la zona en cuestión tiene una cierta pendiente, en base a las características de cada cultivo, sería posible reducir la probabilidad de la existencia de alguno de ellos : el que sea poco factible de ser cultivado en tierras con pendientes mayores que un cierto porcentaje. Si a lo anterior se añade información de climas, de precipitación pluvial, de uso potencial del suelo, etc., las conclusiones a las que se puede llegar en estudios de imágenes de satélite son realmente excepcionales.

Es conveniente hacer notar que el desarrollo e implantación de una base de datos que satisfaga los requerimientos mencionados no es una tarea sencilla. Por el contrario, es necesario solucionar gran cantidad de problemas que se presentan, tanto desde el punto de vista operacional como en relación a la información. El análisis de los problemas relacionados con el aspecto operacional de la base de datos se efectuará en los siguientes capítulos; en relación a la información se presentan varios tipos de problemas :

- a) Redundancia
- b) Inconsistencia
- c) Representación de la información en archivos accesibles por medio de computadora.

La redundancia en la información. Se observa que para cada archivo independiente se tiene información duplicada; al desarrollar una base de datos interrelacionada es necesario eliminar todos los campos en los que se tiene información repetida. De este modo se ahorra espacio de almacenamiento y se evitan simultáneamente la redundancia en archivos y la inconsistencia en los mismos, que de hecho surge por la existencia de información redundante y que no es completamente consistente.

En relación a la representación de la información en archivos de computadora, el principal problema es el de proporcionar concordancia entre los archivos de información posicional y los de información no posicional. Por información posicional se entiende toda la información basada en mapas de distintos tipos, en los que se describen características específicas de las regiones que representan, desde un punto de vista gráfico. Información no posicional es aquella que está relacionada con zonas o entidades del país desde un punto de vista numérico (por ejemplo, información socioeconómica de alguna región particular).

A partir de lo mencionado anteriormente puede llegarse a la conclusión de que el desarrollo e implantación de una base de datos de recursos naturales para ser usada

SISTEMA DE ADMINISTRACION DE LA BASE DE DATOS

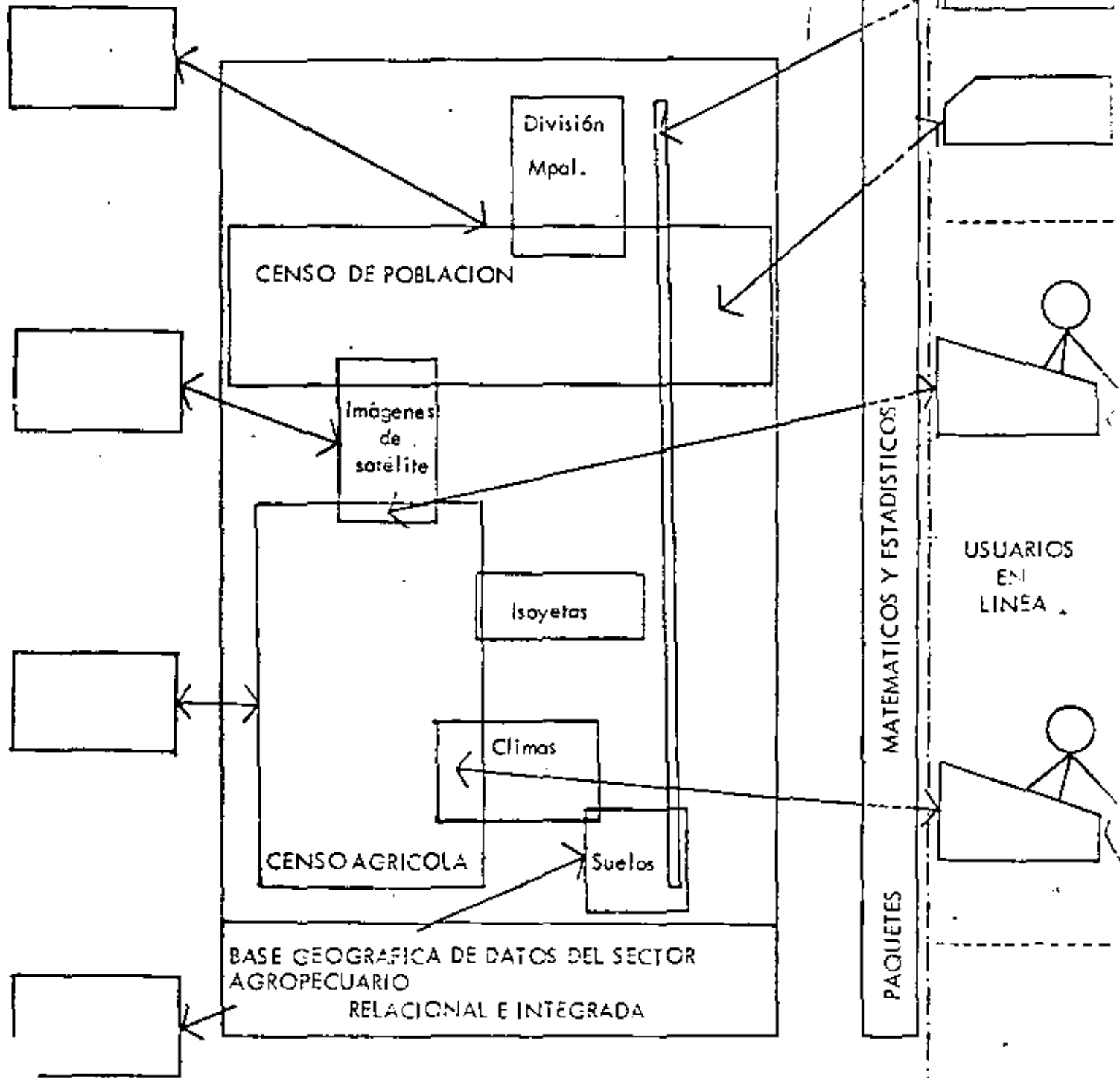


FIGURA 0



en relación a la percepción remota permite el aprovechamiento máximo de las imágenes de satélite, ya que se tiene la posibilidad de complementar esta información con datos generados mediante otro tipo de fuentes. En la Figura 0 se muestra un diagrama del uso de la base de datos.

II. SISTEMAS DE INFORMACION

A. Introducción al Procesamiento de Información

En la medida en que se incrementa el tamaño, complejidad y especialización en una organización, se hace cada vez más difícil para las personas encargadas de tomar las decisiones, el asignar de una manera óptima los recursos disponibles a las necesidades de ella, considerada como conjunto. En base a lo anterior se han empezado a desarrollar distintos tipos de modelos lógico-matemáticos que proporcionan ayuda para la solución de los problemas específicos dentro de una organización.

Es en relación a lo anterior que se hace necesaria la elaboración de sistemas de información que permitan tener un conocimiento global tanto de la información histórica concerniente a los problemas de la organización, como de la operación del sistema mismo con el propósito de permitir la realización de análisis predictivos en relación a la asignación de recursos. Para el desarrollo de sistemas de información en la actualidad, es conveniente considerar los siguientes aspectos :

1. Aplicación enfocada hacia la toma de decisiones. Los principales resultados del análisis deben proporcionar implicaciones directas en relación a la acción que debe tomarse dentro de la organización.

2. Evaluación de la efectividad económica de las alternativas analizadas.

Siempre debe ser posible realizar una comparación medible entre las varias acciones alternativas que se puedan considerar. Esto puede observarse desde dos puntos de vista. Primero, desde el punto de vista de implantación debe considerarse una evaluación económica, en relación a la elaboración del sistema de información. Para ello es necesario considerar diferentes tipos de sistemas, y evaluar los beneficios que van a proporcionar en relación a su costo de implantación y operación. Específicamente, la elaboración de una base de datos interactiva con terminales gráficas para el sector agropecuario, es un sistema de información sofisticado, que requiere de un tiempo relativamente largo para su diseño e implantación y que además tiene un costo elevado, al compararlo con otro tipo de sistemas. Sin embargo, la información que va a proporcionar tiene un valor marginal muy grande, ya que, en última instancia, nos va a permitir tomar decisiones en relación a la asignación de diferentes tipos de cultivos a distintas zonas del país, ya que se tendrá acceso a gran cantidad de características físicas del territorio, de una manera interrelacionada. Lo anterior constituye el punto de vista operacional de las alternativas proporcionadas a las personas encargadas de tomar las decisiones en la organización.

3. Deben existir modelos matemáticos formales en los cuales se base el

sistema de información. Es recomendable utilizar modelos perfectamente definidos para la operación de los archivos manejados por el sistema, ya que de otro modo

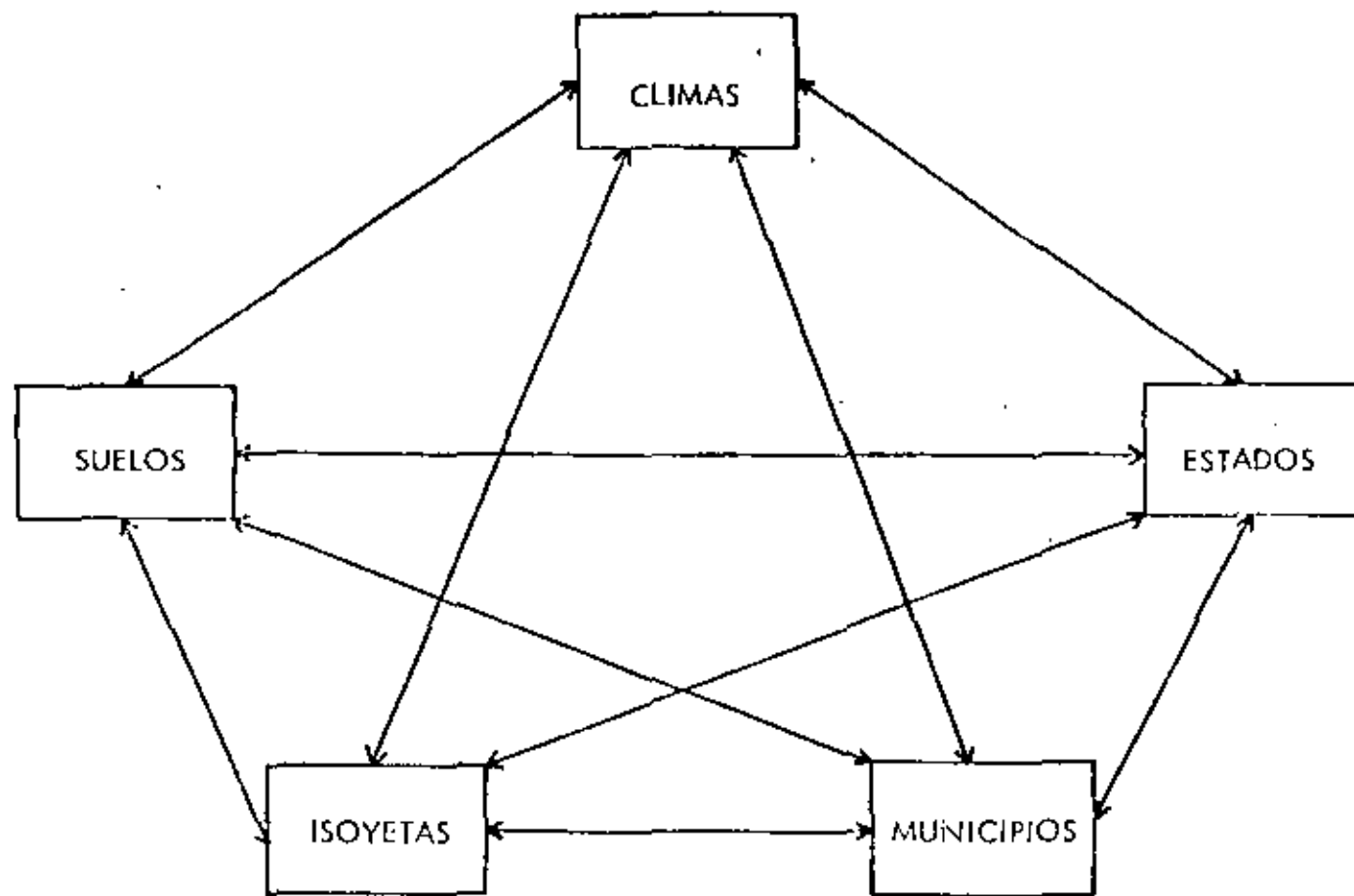
los problemas de actualización y reestructuración del mismo harán que el sistema sea complejo en su operación y por lo tanto que no sea versátil.

4. Necesidad de procesamiento electrónico. En general es un aspecto derivado de la cantidad de información que se maneje y de la complejidad de los cálculos que se realicen, pero, en relación al desarrollo e implantación de sistemas de información en la actualidad, es altamente recomendable considerar el procesamiento electrónico de datos. Esto se aplica incluso para casos en que el volumen de información no es tan grande, ni los cálculos tan complejos, pero el surgimiento de los minicomputadoras con costos realmente reducidos, sugieren su utilización en organizaciones medianas e incluso en algunas relativamente pequeñas.

Un aspecto que es conveniente tomar en consideración, es el análisis del sistema de información, dentro del marco de referencia de la solución de problemas específicos. Los pasos que deben aplicarse para el análisis mencionado son :

- Definición y formulación del problema.
- Desarrollo de soluciones alternativas.
- Construcción de modelos que formalicen estas alternativas.
- Determinación de la relación costo/efectividad de las alternativas.
- Presentación de recomendaciones.
- Implantación y desarrollo de la alternativa seleccionada.

La descripción detallada de cada uno de estos pasos, puede consultarse en la referencia (1).



Estos factores se consideran para el estudio preliminar de la zona de estudio. (Fuente: [illegible])

B. Conceptos de Bases de Datos

Con el propósito de fijar un marco de referencia en relación a una base de datos, es necesario establecer una definición inicial. Una base de datos es una colección de información operacional, almacenada en distintos medios, para ser utilizada por sistemas de aplicaciones diversas en el desarrollo de alguna operación específica. A partir de esta definición se observa que uno de los aspectos de mayor importancia en el establecimiento de una base de datos es que su propósito fundamental es el de proveer información precisa y completa en un período corto.

Existe una gran cantidad de conceptos íntimamente relacionados con la elaboración y operación de una base de datos. Con el propósito de establecer claramente estos conceptos, se considerará a manera de ilustración, la elaboración de una base de datos para el sector agropecuario. Inicialmente se hará referencia a un reducido número de las características de interés mediante las cuales se ejemplifiquen los aspectos de importancia en la elaboración de la base de datos. La información que se tomará en consideración es en relación a características de suelos, climas isoyetas, estados y municipios. En la Figura 1 se muestran estas entidades, incluyendo las posibles interrelaciones entre ellas.

Desde el punto de vista de una base de datos como la propuesta, el mayor interés se encuentra en la generación de asociaciones o relaciones que proporcionen una

liga entre las entidades básicas. En base a lo anterior, interesa, por ejemplo, generar relaciones entre la información disponible para climas con la información de suelos; ésta a su vez en relación con ciertos municipios de un estado determinado, etc. El aspecto más significativo de lo anterior es que este tipo de relaciones forma parte de los datos operacionales en la misma medida en que lo hacen las entidades aisladas. Por lo tanto, estas relaciones deben representarse de alguna manera en la base de datos. Esto puede hacerse por diversos medios; por ejemplo se pueden usar apuntadores, oydacencia física y otros métodos que se analizarán en el capítulo III.

Una gran cantidad de sistemas de bases de datos consideran las entidades y las relaciones como dos tipos de objetos totalmente independientes. Sin embargo, una asociación entre entidades puede ser a su vez considerado como una entidad. Si consideramos la definición de entidad como "un objeto acerca del cual deseamos almacenar información", entonces una asociación ciertamente queda comprendida dentro de la definición. Por ejemplo, "suelos con pendiente menor del 10% con clima húmedo" es una entidad acerca de la cual podemos desear almacenar algún tipo de información.

En relación al desarrollo de una base de datos es necesario establecer los conceptos de sistema de información integrado y distribuido. Un sistema de información integrado es aquél en el que se pretende crear una base de datos común en la que

se tenga gran cantidad de información interrelacionada para ser usada por ciertas aplicaciones específicas. Un sistema de información distribuido es aquél en el que por la naturaleza de las aplicaciones es más conveniente tener desglosada la información. Un ejemplo claro de este tipo de sistema puede ser el de una cer línea, en la que es necesario considerar como un sistema lo concierne a reservaciones de vuelos, y otro sistema independiente para inventarios de partes de avión y de mantenimiento. Como se observa estos dos sistemas manejan gran cantidad de información e incluso puede ser necesario que cada uno de ellos se maneje en tiempo real, pero sin embargo no tiene ningún caso generar una base de datos integrada para las dos aplicaciones. Es conveniente notar que cada sistema por sí mismo puede estar constituido por una base de datos integrada.

En base a las características generales del problema que se pretende resolver esto es, la creación de una base de datos integrada para ser usada en relación a percepción remota, es conveniente establecer las ventajas que presenta la implantación de esta base de datos.

1. Se reduce la redundancia y la duplicación en archivos. Al tener una base de datos integrada se reduce la posibilidad de tener almacenada dos o más veces la misma información.

2. Se elimina la incongruencia entre los datos almacenados. Al haber se reducido la redundancia de información en archivos, ya no se presenta el pro-

blema de que dos fuentes diferentes presenten datos distintos acerca de una misma entidad. Los problemas de veracidad de información necesariamente surgen en la creación de la base de datos, que es el momento en que se debe decidir cuál es la información correcta e introducirla al sistema de información.

3. El establecimiento de una base de datos integrada permite ejercer medidas de control y seguridad uniformes en relación a los usuarios que la accesen. Generalmente se asignan claves que tienen diferentes tipos de permisos; por ejemplo, se tendrán usuarios que sólo tengan permiso de consulta a la base de datos, pero no puedan llevar a cabo actualizaciones. Habrá otros usuarios que, restringidamente, puedan realizar modificaciones a ciertas partes del sistema, y por último habrá claves de usuario que tengan permiso de hacer cualquier tipo de actualización a la base de datos. En general esta última clave debe ser de una persona (o grupo de personas debidamente organizadas) que sea el administrador de la base de datos. Si esto no se maneja de una manera adecuada, es posible que se tengan problemas serios con el funcionamiento de la base de datos.

4. Se permite acceso simultáneo a varios usuarios de la base de datos. Esto es importante, ya que, dado que se trata de un sistema integrado con gran cantidad de información, no sería rentable el que sólo un usuario a la vez pudiera operarla. De hecho, al tener un sistema integrado es posible instalar terminales remotas y hacer crecer el sistema, sin que el costo sea muy elevado.

5. Una base de datos integrada es de gran ayuda para la toma de de ci sio ne s; de este modo se puede consultar interactivamente cualquier tipo de in fo r m a c i o n y evita la pérdida de tiempo en la generación de reportes especiales que en ocasiones únicamente se usan una vez.

6. Es relativamente sencillo realizar modificaciones en relación a este tipo de sistema; esto se debe a que el sistema funciona independientemente, y en ton ce s al realizar un cambio sólo debe atenderse a los cambios dentro del sistema mismo, y no a modificaciones externas a dicho sistema.

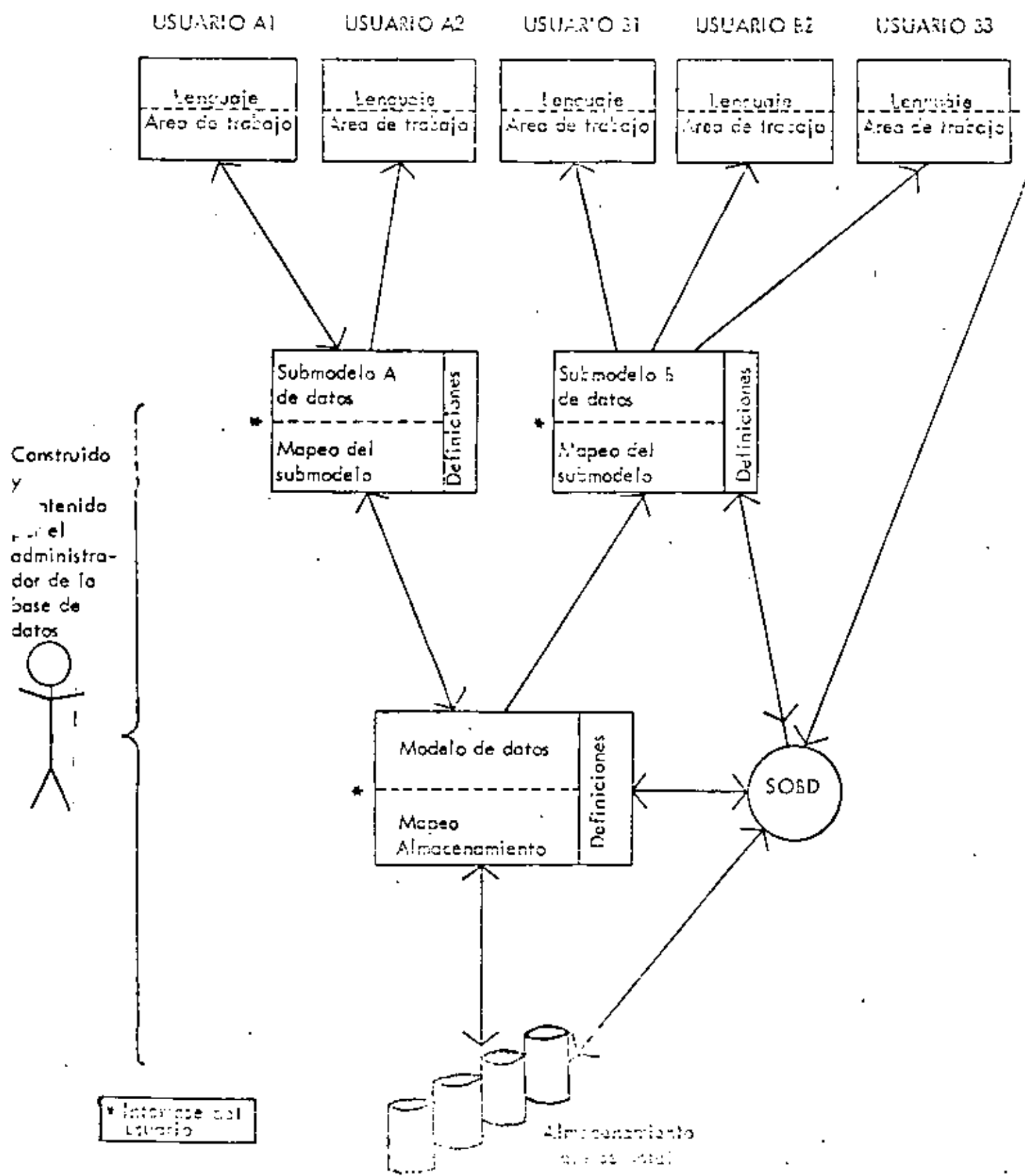
Las ventajas mencionadas implican que una base de datos integrada debe ser lo su fi ci e n te m e n te flexible como para no depender explícitamente de los métodos de ac ce so a los archivos. Este concepto se conoce precisamente como "independencia entre la aplicación y los métodos de acceso", y es uno de los objetivos que debe cumplir el aspecto operacional de la base de datos. Por ejemplo, si se decide en alguna aplicación que un archivo particular debe almacenarse usando el método secu en ci al in de x a d o, entonces la aplicación debe tener conocimiento de la secuencia del archivo y de las llaves bajo las cuales se tiene la secu en ci a c i o n. Esto implica que la aplicación sea dependiente tanto de la estructura del almacenamiento como de los métodos de acceso, ya que no es posible modificar ninguno de estos aspectos sin al te ra r dr ás t i c a m e n te la aplicación mencionada. En una base de datos flexible, uno de los aspectos que se debe satisfacer es precisamente el de poder modificar la estru ct ura de almacenamiento y/o el método de acceso en base a nuevos requerimientos sin

que se tenga la necesidad de modificar las aplicaciones existentes. Por ejemplo, debe ser posible extender un tipo de registro existente mediante la adición de diferentes campos; específicamente debe poder añadirse un campo para pendiente mínima y máxima en el registro correspondiente a datos de suelos. De forma similar debe ser posible añadir nuevos registros a la base de datos, sin que sea necesario cambiar las aplicaciones existentes.

Arquitectura fundamental para una base de datos.

Antes de establecer la estructura de almacenamiento en una base de datos así como los métodos de acceso, es conveniente fijar un cierto marco de referencia en relación al cual sea posible visualizar una base de datos. Como se muestra en la figura 2, en la construcción de una base de datos se distinguen tres niveles principales: interno, externo y conceptual.

El nivel interno es el que se encuentra directamente relacionado con el almacenamiento físico. El nivel externo es el que se encuentra más cercano a los usuarios; en este nivel se tienen los modelos que permiten la interacción entre los usuarios y la base de datos. El nivel conceptual presenta un panorama general de la base de datos y permite preparar una parte de la base de datos para ser utilizada por distintos usuarios. Asimismo facilita la generación de registros o archivos propios de cada usuario que contendrán la información particular que cada uno de ellos requiera.





Se observa en la figura 2, que existe un mapeo entre el nivel conceptual y el interno. Este mapeo es el que sufrirá variaciones al haber algún cambio en los métodos de acceso y/o estructura de almacenamiento con el propósito de que el mapeo entre los modelos conceptual y externo permanezca sin cambio y de este modo se mantenga la independencia de utilización de la base de datos en relación a la estructura interna de la misma.

Desde el punto de vista del funcionamiento de una base de datos es necesario que exista un "administrador de la base de datos", que es el que tiene a su cargo las decisiones en relación a la creación, actualización y operación de la misma. Entre sus principales actividades pueden mencionarse :

- Decidir cuál será el contenido de la base de datos
- Decidir cuál será la estructura de almacenamiento y la estrategia de acceso.
- Proveer una interfase que permita a los usuarios interactuar con la base de datos.
- Definir claves de autorización para distintos tipos de usuarios.
- Definir estrategias de respaldo y recuperación de la base de datos.
- Realizar ajustes necesarios para la base de datos en base a nuevos requerimientos.

Con el propósito de analizar más detalladamente el funcionamiento de bases de datos es necesario considerar los diferentes tipos de estructura de almacenamiento de que, se dispone. Estos se estudiarán en el siguiente capítulo.

III. ESTRUCTURAS DE ALMACENAMIENTO

En este capítulo se presenta una introducción a los métodos mediante los cuales pueden almacenarse datos utilizando medios de acceso directo (discos, tambores, etc.)

Se hará la suposición inicial de que el sistema de operación de la base de datos (SOBD) hace uso de un método que transforma los detalles de dependencia de estructura interna, en módulos de acceso transparentes al usuario, en lo que se refiere al almacenamiento físico de la información. Lo anterior permite al SOBD observar la estructura de almacenamiento como una colección de registros almacenados. Específicamente; SOBD conoce cuáles son los archivos almacenados que existen, y para cada uno de ellos :

- a) La estructura de los correspondientes registros almacenados,
- b) Los campos (si hay alguno) sobre los cuales se tiene secuenciación, y
- c) Los campos almacenados (si hay alguno) que pueden ser usados como argumentos de búsqueda para acceso directo.

Asimismo, cuando se crea un nuevo registro en algún archivo, el método de acceso es el responsable de asignar una dirección del registro almacenado que debe ser única. Esto permite al SOBD crear sus propios mecanismos de acceso (índices, apuntadores, etc.), por encima de los establecidos por el método físico de acceso. Los métodos de acceso más usados en la actualidad se presentan a continuación, usando para ello algunos ejemplos.

Consideremos la siguiente información (Archivo de municipios) :

Archivo de municipios

Clave de municipio	nombre del municipio	Superficie (Ha)	Ingreso per cápita (\$)	Estado al que pertenece
M1	Tamiahua	98 540	2 629	Veracruz
M2	Aldama	365 573	2 688	Tamaulipas
M3	Villa Terrazas.	12 300	2 020	San Luis Potosí
M4	Tuxpan	106 189	3 462	Veracruz
M5	González	339 910	2 493	Tamaulipas

FIGURA 3

La primera (y más sencilla) forma de almacenamiento consiste de un archivo único que contenga cinco registros almacenados, uno para cada municipio. Cada registro se identifica por su orden en el archivo, lo que define su llave principal. La Figura 3, puede considerarse como una representación de lo anterior. Este método de almacenamiento tiene la ventaja de la simplicidad, pero en situaciones reales normalmente es inadecuado. Supongamos que por ejemplo se tuvieran 3000 municipios en vez de 5 y que pudieran encontrarse en sólo 32 estados. Si suponemos que la cantidad de almacenamiento requerido para un apuntador es menor que la requerida para el nombre del estado al que pertenece el municipio, la represen-

tación mostrada en la Figura 4, va a ahorrar espacio de almacenamiento en la situación mencionada.

Archivo de municipios					Archivo de estados
Clave de municipio	nombre del municipio	Superficie (Ha)	Ingreso per cápita	Apuntador a estado	Nombre del estado
M1	Tamiahua	98 540	2 629		San Luis Potosí
M2	Aldama	365 573	2 688		Tamaulipas
M3	Terrazas	12 300	2 020		Veracruz
M4	Tuxpan	106 189	3 462		
M5	González	339 910	2 493		

FIGURA 4

En la representación anterior tenemos dos archivos : el archivo de municipios y el de estados con apuntadores del primero al segundo. Como se observa la modificación realizada únicamente sirve para reducir almacenamiento, pero desde el punto de vista operacional no reporta mayores beneficios.

Cuando se trata de mejorar el aspecto funcional de un archivo, en general, debe tomarse en consideración el tipo de aplicaciones para las que se va a usar el archivo, esto es, el tipo de acceso más frecuente que se va a tener. Por ejemplo, si la pregunta "encontrar todos los municipios para un cierto estado" es frecuente,

entonces el SOBD puede seleccionar la alternativa de almacenamiento mostrada en la Figura 5.

Archivo de estados

Archivo de municipios

estado	Apuntador a municipio	Clave del municipio	nombre del municipio	superficie	ingreso per-cápita
San Luis Potosí		M1	Tamiahua	98 540	2 629
Tamaulipas		M2	Aldama	36 573	2 688
Veracruz		M3	Terrazas	12 300	2 020
Veracruz		M4	Tuxpan	106 189	3 462
Veracruz		M5	González	339 910	2 493

FIGURA 5

En este caso también tenemos dos archivos almacenados, el de municipios y el de estados, pero en esta ocasión los apuntadores se tienen del segundo al primer archivo. Es obvio que esta representación es mejor que la anterior para contestar a la pregunta en relación a encontrar todos los municipios para un cierto estado, pero peor para preguntas en relación a encontrar todos los atributos de un cierto municipio. El requerimiento de almacenamiento es exactamente el mismo.

El aspecto interesante en relación a esta representación es que el archivo de estados es un índice para el archivo de municipios (un índice controlado por SOBD y

no por el método de acceso). El índice en cuestión es un índice secundario denso; el hecho de que sea secundario se debe a que el índice se tiene en un campo distinto al de la llave principal; el índice es denso ya que contiene un elemento para cada registro almacenado en el archivo indexado. Nótese que esto significa que el archivo indexado no necesariamente contiene el campo indexado (en el ejemplo, el archivo de municipios ya no tiene el campo del estado al que pertenece).

Existe la posibilidad de combinar las dos representaciones previas para obtener las ventajas de cada una de ellas, con el costo de requerir algo más de espacio de almacenamiento, y tener que considerar mantenimiento de apuntadores cuando se efectúe algún cambio en los archivos. La Figura 6, muestra esta representación de almacenamiento de datos.

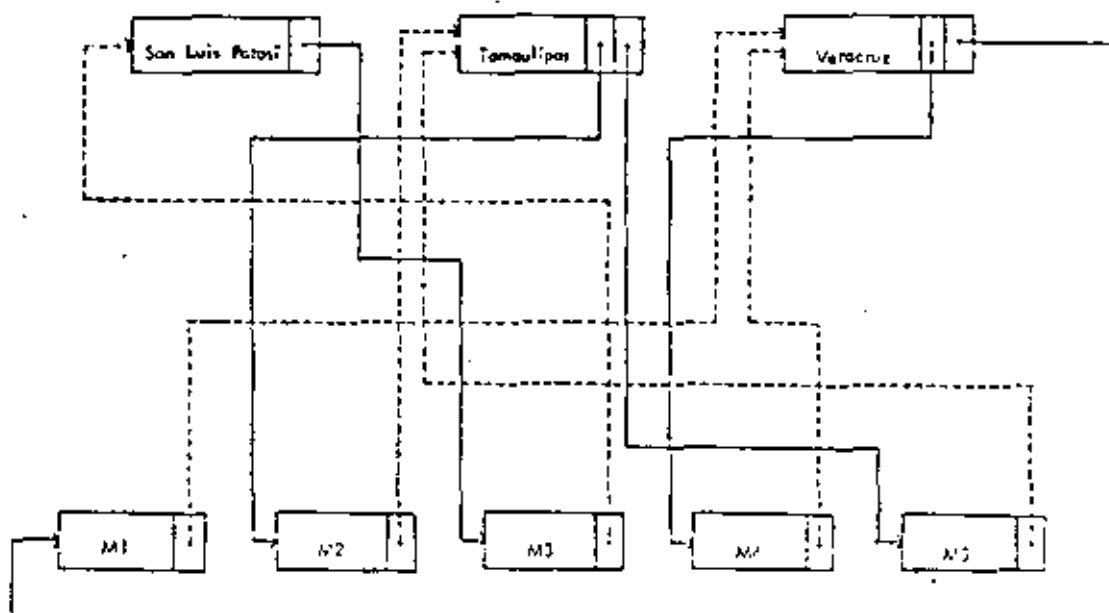


FIGURA # 6

Una gran desventaja de los índices secundarios es que en general, cada índice puede contener un número impredecible de apuntadores (ya que el campo indexado no siempre contiene un valor distinto para cada registro almacenado en el archivo indexado). Este hecho complica el trabajo de SOBD al actualizar la base de datos, y sugiere la búsqueda de una solución alternativa al problema en cuestión; para ello se considera el uso de listas conectadas (cadenas) en la que cada registro contiene sólo un apuntador (Figura 7).

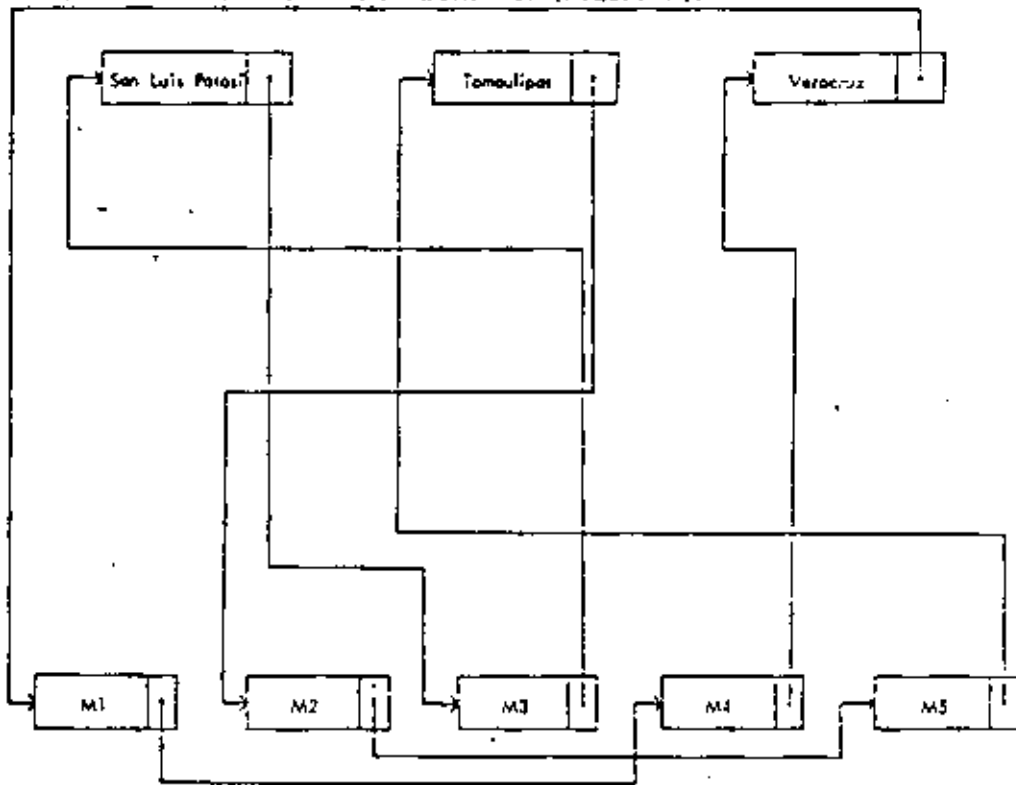


FIGURA 7

Cada estado apunta hacia el primer municipio del estado, que a su vez apunta hacia el segundo, y así sucesivamente hasta que el último apunta hacia el estado al que pertenece. Entonces para cada estado se tiene una cadena en la que

se incluyen todos los municipios del estado. La ventaja principal de esta representación es que es más sencillo realizar modificaciones. La desventaja es que para un estado determinado, el único medio de acceder el n -ésimo municipio es siguiendo la cadena accedando los $n-1$ anteriores.

La representación mostrada en la Figura 7, es un ejemplo simple de organización basada en multi-listas. Para un caso más general, se considera un mayor número de apuntadores con el propósito de poder acceder de una manera rápida los archivos, con secuenciación en diferentes campos.

Consideremos de nuevo el indexado secundario. Así como es posible proveer a una organización multi-lista de cualquier número de listas, también es posible proveer cualquier número de índices secundarios en una organización indexada.

Consideremos el siguiente archivo :

Archivos de suelos

Suelos	Grupo de Suelo.	Textura	Pendiente mínima (%)	Pendiente máxima (%)
S1	Regosol	Fina	0	2
S2	Vertisol	Fina	10	20
S3	Cambisol	Gruesa	0	2
S4	Regosol	Gruesa	2	10
S5	Cambisol	Media	20	100

FIGURA 8

A partir del archivo de la Figura 8 y utilizando la Figura 9, se ilustra el uso de cualquier número de índices secundarios. Este tipo de indexado se conoce como organización invertida

<u>Índice de Grupo de suelo.</u>	<u>Apuntador</u>	<u>Textura</u>	<u>Apuntador</u>	<u>Pendiente</u>	<u>Apuntador</u>
Regosol	S1, S4	Fina	S1, S2	0-2	S1, S3
Vertisol	S2	Media	S5	2-10	S4
Cambisol	S3, S5	Gruesa	S3, S4	10-20	S2
				20-100	S5

Archivo de suelos

<u>Suelos</u>
S1
S2
S3
S4
S5

FIGURA 9

Sin embargo, a pesar de que la organización invertida tendrá efectividad en respuesta a una solicitud en relación a todos los suelos con una cierta propiedad, (por ejemplo, con textura fina), una solicitud con todas las propiedades para un cierto tipo de suelo, requerirá de un tiempo relativamente largo para ser contestada. En la práctica se usa frecuentemente este tipo de organización, en relación a la organización más sencilla mostrada en la Figura 8. Nótese, sin embargo, que esto involucra una cierta redundancia en el almacenamiento de los valores de los archivos indexados.

Otro tipo de organización que debe ser mencionada es la organización jerárquica, mostrada en la Figura 10. Esta figura se obtiene usando los datos del archivo de municipios (Figura 3).

San Luis Potosí			
M3	Terrazas	12 300	2 020
Tamaulipas			
M2	Aldama	365 573	2 688
M5	González	339 910	2 493
Veracruz			
M1	Tamiahua	98 540	2 629
M4	Tuxpan	106 189	3 462

FIGURA 10

En este caso se tiene un único archivo almacenado que contiene tres registros jerárquicos, uno para cada estado. Parte de cada registro almacenado consiste de una lista de longitud variable de registros de municipios, uno para cada municipio en el estado correspondiente, y cada registro de municipio contiene su clave, nombre, superficie e ingreso per-cápita de la población. Incidentalmente, es conveniente mencionar que el uso de índices secundarios (Figura 5) es en realidad un archivo jerárquico.

La última representación que consideraremos es la de direccionamiento por clave, (Hash addressing). La idea básica de este tipo de direccionamiento consiste en que cada registro se almacena en la base de datos en una localidad cuya dirección puede ser calculada mediante una función del valor que aparece en alguno de los campos del registro (usualmente se usa la llave principal). Entonces, para almacenar inicialmente un registro, el SOBD calcula la dirección del registro (DR) e instruye al método de acceso a colocar el registro en esa posición; para leer el registro, el SOBD realiza el mismo cálculo anterior, e instruye el método de acceso a recuperar el registro deseado de la dirección calculada. La ventaja de este tipo de organización es que proporciona acceso directo bastante rápido en relación a los valores del campo del registro a partir del cual se calculó la clave.

Como ejemplo ilustrativo de este tipo de organización, consideremos el archivo

de municipios (Figura 3), pero supongamos que la parte numérica de las claves de los municipios son 100, 200, 300, 400 y 500, en vez de 1, 2, 3, 4 y 5, y consideremos la siguiente función para la obtención de la clave.

$DR = \text{residuo obtenido al dividir el número del municipio entre } 13.$

Las DR_s para los cinco municipios son entonces 9, 5, 1, 10, 6, respectivamente, generando la representación mostrada en la Figura 11.

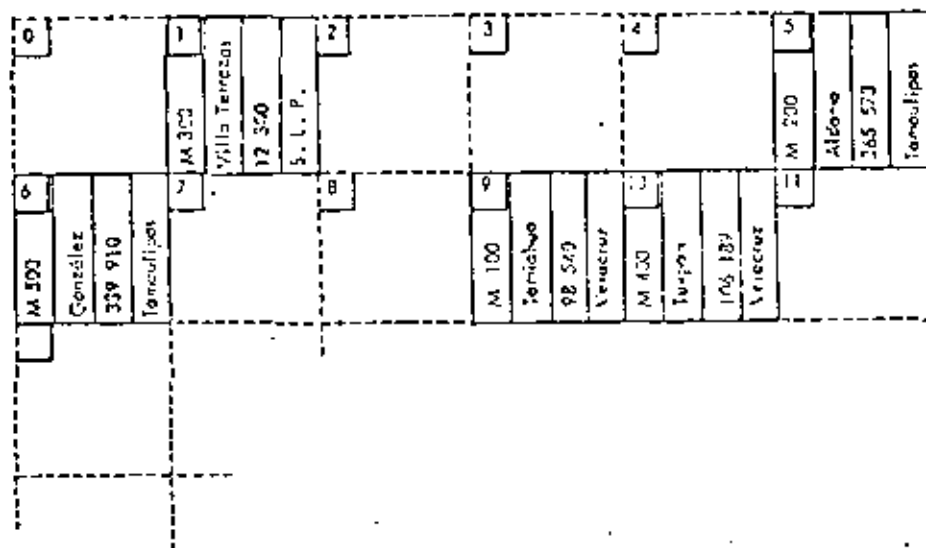


FIGURA 11

En la Figura se supone que estos valores de DR representan simplemente las posiciones de los registros en el archivo almacenado.

Además de mostrar cómo funciona el direccionamiento por clave, en el ejemplo también se muestra porqué es necesario este direccionamiento. Teóricamente, es posible usar una función identidad para determinar la clave del direccionamiento (esto equivale a usar el valor de la llave principal para cada registro. Esto, sin embargo, es inadecuado en la práctica, ya que el rango de valores de la llave principal es generalmente más amplio que el rango disponible de DR_s . Por ejemplo, supongamos que la parte numérica de las claves de los municipios contenga 5 dígitos. Esto permite un máximo teórico 100000 municipios, mientras que en la práctica no se tengan más de 3000. Este caso se tendría, si los municipios no necesariamente estuvieran numerados consecutivamente. Para evitar un desperdicio de espacio de almacenamiento se requeriría una función de direccionamiento que reduzca el rango de 0 - 99999 a un rango de 0 - 2999. Con el propósito de permitir crecimiento se prevé dejar un espacio libre y seleccionar entonces una función que genere valores entre 0 - 3999.

El ejemplo también muestra una de las desventajas del direccionamiento por clave : la secuencia de los registros almacenados dentro del archivo almacenado no será la de la llave principal. Adicionalmente pueden existir intervalos de tamaño arbitrario entre los almacenamientos de registros. (De hecho, un archivo con direccionamiento por clave se considera que no tiene secuencia).

Otra desventaja de este tipo de direccionamiento es la posibilidad de colisiones; esto es, dos registros distintos con diferentes DR_s pueden tener la misma clave de almacenamiento.

Hasta este momento se han analizado brevemente las estructuras de almacenamiento más usadas en la actualidad. En base a estos análisis puede concluirse que no existe una estructura de almacenamiento estrictamente "mejor" que las restantes. La "mejor", depende de la aplicación de la base de datos que se trabaje.

En relación a las consideraciones que deben hacerse para la selección de una estructura de almacenamiento deben incluirse rapidez de recuperación, facilidad de efectuar modificaciones, facilidad de reorganización y la cantidad de espacio de almacenamiento disponible. En cualquier caso, como se mencionó anteriormente, la selección debe tomar en consideración los aspectos mencionados, pero en última instancia depende de la aplicación específica que se vaya a dar a la base de datos.

IV BASES DE DATOS

La parte medular del sistema de base de datos es el modelo conceptual definido en el capítulo II. De hecho, la elaboración de los sublenguajes que se van a utilizar para el acceso y actualización de la base de datos, depende directamente de la estructura del modelo conceptual de la base de datos; estos sublenguajes son los que efectúan el mapeo entre el modelo conceptual y el externo, que es precisamente la interrelación entre los usuarios y la base de datos.

En relación a la estructura y funcionamiento del modelo conceptual y a los sublenguajes de acceso, actualización y uso de la base de datos, se han desarrollado tres distintos enfoques, los cuales son:

- A. Enfoque jerárquico
- B. Enfoque de redes
- C. Enfoque relacional

A continuación se establecerán las bases teóricas de cada uno de estos enfoques, así como sus características operacionales.

A. El enfoque jerárquico

La figura 12 muestra un posible modelo jerárquico para la base de datos de municipios y estados. La información contenida en cada uno de los campos de los registros

de municipios es : clave del municipio, nombre, superficie, ingreso per-cápita y estado al que pertenece. Para los registros de suelos se tiene : suelo, grupo de suelo, textura, pendientes mínima y máxima, y superficie.

M1	Tamiahua	98 540	2 629		Veracruz
S2	Vertisol	finá	10	20	43 240
S3	Cambisol	gruesa	0	2	55 200
M2	Aldama	365 573	2 688		Tamaulipas
S1	Regosol	finá	0	0	365 573
M3	Terrazas	12 300	2 020		San Luis Potosí
S3	Cambisol	grueso	0	2	12 300
M4	Tuxpan	106 189	3 462		Veracruz
S2	Vertisol	finá	10	20	26 100
S4	Regosol	gruesa	2	10	80 089
M5	González	339 910	2 493		Tamaulipas
S1	Regosol	finá	0	2	39 010
S4	Regosol	gruesa	2	10	200 000
S5	Cambisol	media	20	100	100 900

Figura 12



En este modelo los datos se representan mediante una estructura de árbol con municipios superiores a suelos (de allí el nombre de enfoque jerárquico). Se observan 5 árboles independientes, uno para cada municipio: cada árbol consiste de un registro de municipio, que es conocido como la raíz del árbol, y un número variable de registros subordinados, uno para cada tipo de suelo en el municipio. En general, una raíz puede contener cualquier número de dependientes, cada uno de los cuales a su vez puede tener cualquier número de dependientes, y así consecutivamente, hasta cualquier número de niveles.

El modelo jerárquico de la Figura 12 forma un solo archivo, conteniendo registros ordenados en cinco árboles distintos; nótese, sin embargo, que este archivo es de estructura compleja. En primer lugar contiene varios tipos de registros, no uno solo. Segundo, también contiene ligas de conexión entre estos registros; en el ejemplo existe una liga entre los municipios y los tipos de suelos que es el área común a un municipio y a un tipo de suelo.

Es fundamental para el enfoque jerárquico el hecho de que cualquier registro sólo toma significado completo al ser considerado dentro de su contexto, esto es, ningún registro dependiente puede existir sin la presencia de su superior. Esto implica que en el sublenguaje creado para el acceso a la base de datos se debe identificar explícitamente al superior de un registro específico.

Consideremos algunas operaciones específicas de este sublenguaje. Si definimos dos preguntas, una simétrica de la otra, con el propósito de evaluar el funcionamiento del sublenguaje creado, tendremos por ejemplo:

P1 = encontrar los tipos de suelo para el municipio M3

P2 = encontrar los municipios en los que se tenga tipo de suelo S3

La figura 13 muestra la manera como se resolvería cada una de estas preguntas utilizando el enfoque jerárquico.

<p>P1 : ¿Encontrar los tipos de suelo para el municipio M3</p>	<p>P2 : Encontrar los municipios en los que se tenga tipo de suelo S3</p>
<p>Obtener (siguiente)municipio para # M = M3</p> <p>SIGUE: Obtener siguiente tipo de suelo para este municipio</p> <p>¿Se encontró el tipo de suelo? Si no, fin</p> <p>Imprimir # S</p> <p>Regresa a SIGUE:</p>	<p>SIGUE: Obtener el siguiente municipio</p> <p>¿Se encontró otro municipio? Si no, fin</p> <p>Obtener (siguiente)tipo de suelo para este municipio en donde # S = S3</p> <p>¿Se encontró el tipo de suelo? Si no, regresar a SIGUE</p> <p>Imprimir # M</p> <p>Regresar a SIGUE</p>

Figura 13

En la figura 13 se ha escrito entre paréntesis "siguiente" en las proposiciones en que se espera que cuando más un registro satisfaga las condiciones especificadas. En esta figura se observa que a pesar de que las preguntas originales son simétricas, los dos procedimientos mostrados no lo son. La pérdida de simetría es una consecuencia directa del modelo (figura 12), cuya propia estructura es asimétrica, considerando tipos de suelo como dependientes y municipios como raíces de árbol. Esta asimetría es la principal desventaja del enfoque jerárquico, ya que conduce a complicaciones innecesarias para el usuario. Específicamente, el usuario se ve forzado a dedicar tiempo y esfuerzo a la solución de problemas que son introducidas por el modelo (sublenguaje) y que no son intrínsecas a las preguntas realizadas.

Desde otro punto de vista, generalmente puede decirse que las jerarquías son un medio natural de representar estructuras realmente jerárquicas. El ejemplo presentado, sin embargo, no es un caso de éstos, ya que en la realidad existe una correspondencia de varios a varios entre municipios y suelos.

Considerando ahora las operaciones de almacenamiento, se encuentra que el modelo jerárquico de la figura 12 presenta aún otras propiedades indeseables. Las anomalías surgen cuando se intenta realizar alguna de las operaciones básicas de manejo de archivos (insertar, borrar, actualizar). Estas dificultades se muestran mediante tres ejemplos.

Insertar No es posible considerar un nuevo tipo de suelo (sin introducir un municipio artificial), hasta que el tipo de suelo se asigne a algún municipio.

Borrar

Como se tiene que la información de superficie de un tipo de suelo para cierto municipio se encuentra dentro del registro de tipo de suelo, la única manera de borrar esa superficie es borrando el registro completo. Esto implica que si borramos la única superficie para un tipo de suelo, perderemos toda la información respecto a ese tipo de suelo. Por ejemplo al borrar la superficie correspondiente a M5 y S5, se borraría toda la información para S5, ya que únicamente aparecía en M5, y por lo tanto esta información se pierde.

Actualizar

Se necesita una modificación de la descripción de un tipo de suelo, por ejemplo, cambiar S3 de cambisol a vertisol, nos encontramos con el problema de rastrear el modelo íntegro para encontrar todos los registros donde aparece S3, ya que de otro modo es bastante fácil introducir alguna inconsistencia.

B. EL ENFOQUE DE REDES

La figura 14 muestra un modelo de redes para la base de datos de municipios y suelos.

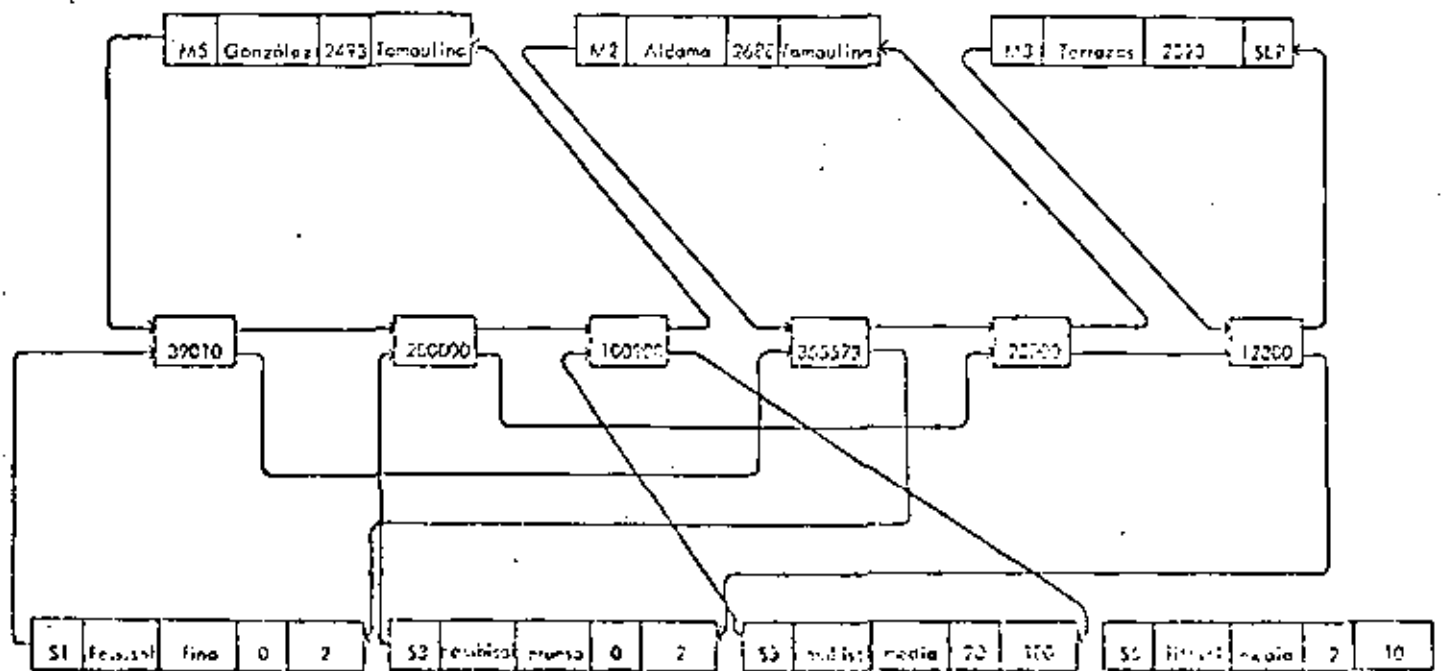


FIGURA 14

En este modelo los datos se representan mediante registros y ligas. Una estructura de redes es bastante más general que una jerárquica, ya que un registro dado puede tener cualquier número de registros superiores (al igual que cualquier número de dependientes inmediatos); no se está limitando a un registro superior como en una jerarquía. Por lo tanto, el enfoque de redes permite modelar correspondencias de varios a varios de manera más directa que con el enfoque jerárquico, como se ilustra en la figura 14. Adicionalmente a dos tipos de registros que representan, respectivamente, registros de municipios y suelos, se introduce un tercer tipo de registro que será llamado conector. Un conector representa la asociación entre un municipio y un tipo de suelo, y contiene da-

tos que describen esta asociación (en el ejemplo, la superficie común de un municipio y un tipo de suelo). Todos los conectores para un cierto tipo de suelo se colocan en una cadena que empieza y termina en ese tipo de suelo. De forma similar, todos los conectores para un cierto municipio empiezan y terminan en ese municipio. Por ejemplo la figura 14 muestra que el municipio M1 tiene 43 240 Ha de suelo S2 y 55 200 de suelo S3. A propósito, es conveniente hacer notar que la correspondencia entre un municipio y un conector es una relación de varios a uno, lo que muestra que las jerarquías pueden representarse fácilmente en un sistema de redes.

El modelo de redes de la figura 14 es bastante más simétrico que el modelo jerárquico de la figura 12 y ésta simetría se observa en los dos procedimientos para contestar las preguntas P1 y P2 realizadas en el inciso anterior como se muestra en la figura 15.

<p>P1 : Encontrar los tipos de suelo para el municipio M3</p>	<p>P2 : Encontrar los municipios en los que se tenga tipo de suelo S3</p>
<p>Obtener (siguiente)municipio donde # M = M3</p> <p>SIGUE: Obtener el siguiente conector para este municipio</p> <p>¿Se encontró el conector? Si no, fin</p> <p>Obtener el tipo de suelo superior para este conector</p> <p>Imprimir # S</p> <p>Regresar a SIGUE</p>	<p>Obtener (siguiente tipo de suelo en donde # S = S3</p> <p>SIGUE: Obtener el siguiente conector para este tipo de suelo</p> <p>¿Se encontró el conector? Si no, fin.</p> <p>Obtener el municipio superior para este conector</p> <p>Imprimir # M</p> <p>Regresar a SIGUE</p>

Figura 15

A pesar de que este modelo es más complejo que el jerárquico, sí se logra obtener simetría para la realización de consultas, lo que en última instancia favorece la selección de este método. Sin embargo, una complicación que no aparece en la figura 15, surge en relación con preguntas como "encontrar la superficie común entre el municipio M2 y el suelo S3". Para responder a esta pregunta es necesario recuperar el conector que se encuentra tanto en la cadena de M2 como en la de S3. El problema es que se tienen dos estrategias para localizar a este conector: una que se inicia en el tipo de suelo y rastrea su cadena hasta encontrar un conector ligado al municipio M2, y otra que comienza en el municipio y rastrea su cadena hasta encontrar un conector ligado con el tipo de suelo S3. La selección entre estas dos estrategias puede ser bastante significativa en lo que respecta al tiempo de rastreo requerido.

Consideremos ahora las operaciones de almacenamiento. Los problemas mencionados en el enfoque jerárquico desaparecen, en base a la forma específica que se ha asignado a la red.

- | | |
|----------|--|
| Insertar | Para insertar datos concernientes a un nuevo tipo de suelo, simplemente se crea un nuevo registro de tipo de suelo. Inicialmente no habrá conectores para el nuevo suelo; su cadena constará de un solo apun-
tador del tipo de suelo a sí mismo. |
| Borrar | Para borrar la superficie común entre M0 y S3, borramos el conector entre este municipio y este tipo de suelo. Las dos cadenas en cuestión requeri- |

rán ajustes apropiados (normalmente realizados automáticamente por el sublenguaje creado)

Actualizar Es posible cambiar el grupo de suelo de S3 de cambisol a vertisol sin problemas de búsqueda y sin la posibilidad de una inconsistencia, ya que el grupo de suelo para S3 aparece en un solo lugar en el modelo.

El modelo de redes presenta considerables ventajas en relación al modelo jerárquico analizado anteriormente. Su principal desventaja es la complejidad del modelo mismo y del sublenguaje creado; sin embargo, el rango de las estructuras de datos soportadas por este modelo refleja el hecho de que el modelo de redes se encuentra bastante cercano a una estructura de acceso, como se observa al compararlo con el modelo mostrado en la figura 7 del capítulo III. Lo anterior es un aspecto favorable en relación a su implantación, ya que a pesar de su complejidad tendrá un funcionamiento eficiente.

C EL ENFOQUE RELACIONAL

La figura 16 muestra una representación del modelo relacional.

S	Tipo de Suelo	Grupo de Suelo	Textura	Pendiente Mínima	Pendiente Máxima
	S1	Regosol	finá	0	2
	S2	Vertisol	finá	10	20
	S3	Cambisol	gruesa	0	2
	S4	Regosol	gruesa	2	10
	S5	Cambisol	media	20	100

M	Número de Municipio	Nombre	Superficie	Ingreso Per-cápita	Estado al que pertenece.
	M1	Tamiahua	98 540	2 629	Veracruz
	M2	Aldama	365 573	2 688	Tamaulipas
	M3	Villa Terrazas	12 300	2 020	S.L.P.
	M4	Tuxpan	106 189	3 462	Veracruz
	M5	González	339 910	2 493	Tamaulipas

MS	Número de municipio	Número de suelo	Superficie
	M1	S2	43 240
	M1	S3	55 200
	M2	S1	365 573
	M3	S3	12 300
	M4	S2	26 100
	M4	S4	80 089
	M5	S1	39 010
	M5	S4	200 000
	M5	S5	100 900

FIGURA 16

Como se observa en la figura, los datos están organizados en tres tablas :
(M) Municipios, (S) suelos y (MS) superficie común; cada uno de ellos se asemeja a un archivo secuencial tradicional, con los renglones de la tabla correspondiendo a los registros del archivo y las columnas a sus campos. Sin embargo, existen ciertas diferencias significativas entre estas tablas y los archivos mencionados, como se aprecia en la definición de relación.

Definición de Relación.- Dada una colección de conjuntos D_1, D_2, \dots, D_n (no necesariamente distintos), R es una relación sobre estas n conjuntos, si a su vez es un conjunto ordenado de renglones d_1, d_2, \dots, d_n tal que d_1 pertenece a D_1 , d_2 a D_2, \dots, d_n a D_n . Los conjuntos D_1, D_2, \dots, D_n son los dominios de R . El valor n es el grado de R . Por dominio se entiende el conjunto de valores posibles, susceptible de ser tomado por un cierto atributo (columna) de la relación. En la figura 16 se ilustra una relación llamada MUNICIPIOS, de grado 5, definida sobre los dominios número de municipio ($\# M$), nombre de municipio (N), superficie (SUP), ingreso per-cápita (IPC) y estado al que pertenece (EP). El dominio EP, por ejemplo, es el conjunto de todas las estados válidas al cual puede pertenecer un municipio, nótese que pueden existir estados en el dominio que actualmente no aparezcan en la relación MUNICIPIOS.

Estrictamente hablando, no existe un orden definido entre los renglones de una relación, ya que una relación es un conjunto y los conjuntos no tienen orden. En la figura del ejemplo (figura 16) los renglones de la relación MUNICIPIOS podrían encontrarse en orden inventido, y sin embargo se tendría la misma relación. Es conveniente notar que

en la práctica si se asigna un cierto orden a las relaciones, básicamente por propósitos operacionales (por ejemplo, búsquedas), aunque no es un requerimiento que necesariamente deba ser satisfecho.

En base a los conceptos anteriores se fundamenta el hecho de que los archivos que cumplan con ciertas restricciones (a partir de la definición de relación) puedan ser consideradas como relaciones matemáticas y consecuentemente se pueda usar la teoría de relaciones para la solución de problemas prácticos con respecto a la operación de bases de datos. Obsérvese que las relaciones M y MS tienen un dominio en común (número de municipios), y lo mismo sucede con las relaciones S y MS (tipo de suelo). Esto se debe a que a partir de las dos relaciones originales (MUNICIPIOS Y SUELOS) se ha generado una tercera relación que tiene la misma estructura que las relaciones originales. Esta es una de las mayores ventajas del enfoque relacional sobre el jerárquico y el de redes; específicamente lo que se logra con lo anterior es que toda la información de la base de datos (tanto "entidades" como "asociaciones") se represente de una manera uniforme (en forma de relaciones) y además se mantenga la independencia entre esta representación y el método de acceso. Esto es de gran importancia para la realización de consultas a la base de datos, ya que permite efectuar recursividad sobre las preguntas realizadas y almacenar cada una de las nuevas relaciones como entidades para que a su vez puedan ser usadas posteriormente para la generación de otras relaciones.

Resumiendo lo anterior, las principales ventajas del modelo relacional son:

- Simplicidad de representación

Simplicidad del sublenguaje que se requiere para su operación

Independencia entre el sublenguaje y la estructura de almacenamiento

En la figura 17 se muestra la forma de resolver las preguntas P1 y P2 realizadas anteriormente para el análisis de los modelos jerárquico y de redes.

P1: Encontrar los tipos de suelo que se encuentran en el municipio M3	P2: Encontrar los municipios que tienen tipo de suelo S3
SIGUE: Obtener el siguiente tipo de suelo en donde # M = M3 ¿Se encontró algún tipo de suelo? Si no, fin Imprimir # S Regresar a SIGUE	SIGUE: Obtener el siguiente municipio en donde # S = S3 ¿Se encontró algún municipio? Si no, fin Imprimir # M Regresar a SIGUE

FIGURA 17

Al igual que en los casos anteriores (modelos jerárquico y de redes) se hicieron preguntas simétricas. La respuesta generada también fue simétrica, además de que se obtiene simplicidad en la operación de la base de datos, en contraste con los resultados obtenidos usando los otros dos modelos.

Adicionalmente a las ventajas mencionadas, como la información se presenta en una sola forma (relaciones), únicamente se requiere un operador para cada una de las funcio

nes básicas de operación de archivos (insertar, borrar y actualizar). Analicemos tres problemas simples, para ejemplificar la operación relacional a realizarse.

Insertar El área de trabajo W contiene información concerniente a un nuevo tipo de suelo S6. Insertar esta información en la base de datos.

- . Insertar un renglón de W a la relación de tipos de suelo.

Borrar Borrar la superficie común entre M2 y S3

- . Borrar la superficie común donde # M = M2 y # S = S3

Actualizar El tipo de suelo S1 ha cambiado ha cambiado de regosol a vertisol.

- . Actualizar el renglón de tipos de suelo en donde # S = S1, haciendo grupo de suelo = vertisol.

Se observa en las tres operaciones anteriores que, de hecho, la acción realizada no es más que la descripción de lo que se deseaba hacer. Prácticamente hablando, esto es permitido en el enfoque relacional, y dependiendo del sublenguaje creado, es posible definir funciones que interactúen con la base de datos mediante mensajes como los mostrados, sin complicaciones adicionales para el usuario. Esto es de gran utilidad para la operación de la base de datos, ya que no requiere de conocimientos de computación por parte del usuario para poder acceder la base de datos.

En las últimas tres secciones se han descrito los principales enfoques en relación a la elaboración y uso de bases de datos. En general no es posible emitir un juicio a priori en relación a cual de los métodos es mejor; es necesario conocer la aplicación específica,

los requerimientos de entrada y salida de información y las disponibilidades de equipo para poder tomar una decisión con respecto a cuál de los métodos debe implantarse. Desde otro punto de vista, cada uno de estos enfoques no necesariamente tiene que operar aislado de los otros dos, sino que, realmente, se deben considerar aspectos funcionales de cada uno de ellos y generar una base de datos que utilice lo mejor de cada método en relación a la aplicación en cuestión.

V. APLICACIONES PRACTICAS DE BASES DE DATOS

Hasta el momento se han establecido los conceptos generales en relación al desarrollo e implantación de bases de datos. A continuación se proporciona la descripción de algunas aplicaciones prácticas de dichas bases de datos.

A. Base de datos del sector agropecuario en relación a percepción remota.

Se considera la elaboración de una base geográfica de datos a nivel nacional. Inicialmente se contempla una etapa de implantación de una base de datos en la que se estudie una zona pequeña del país, con el propósito de tomar las decisiones necesarias en relación a la estructura de archivos y del sublenguaje creado para la utilización de la base de datos. Se considera el uso del modelo relacional para el desarrollo de esta base de datos, aunque también se considera el uso de apuntadores con el propósito de agilizar el acceso a los archivos físicos.

En relación a las aplicaciones que se darán a esta base de datos, es necesario considerar algunos aspectos que son importantes para el diseño de la misma; entre otros, los principales son :

1. Disponibilidad tanto de información posicional como de información no posicional. Esto se obtiene fácilmente a partir de las relaciones generadas, que permiten manejar ambos tipos de información.

2. La captura de información debe poder realizarse a partir de varias fuentes, por ejemplo, mapas, imágenes de satélite, datos del censo, etc.

3. La información contenida en la base de datos debe ser susceptible de extraerse a cualquier escala. Esto, desde luego, tiene la limitación de precisión de los mapas de entrada, y aunque el tamaño del mapa generado se incrementa, el detalle que se obtenga no será mayor.

4. Como información de salida de la base de datos se prevé la generación de matrices de datos que sirvan como entrada a paquetes estadísticos y/o matemáticos que proporcionen análisis detallados de la información considerada para la región en estudio (dentro de la base de datos).

Los aspectos mencionados nos proporcionan los lineamientos que deben seguirse para llevar a cabo la implantación de la base de datos; sin embargo hay una gran cantidad de problemas de naturaleza diversa que es necesario resolver para lograr nuestro propósito. Por ejemplo, desde el punto de vista de la captura de información es necesario diseñar métodos que permitan la introducción de mapas a los archivos de la base de datos; es precisamente en relación a esto que deben conocerse tanto modelos digitales del terreno como diversos tipos de notaciones para describir formas geográficas en dos dimensiones.

Desde el punto de vista de programación, también se tienen serios problemas en relación a la implantación de la base de datos. Por ejemplo, deben tenerse medios de consulta tanto en línea como en "batch" para proporcionar versatilidad de operación a la base de datos. Asimismo, debe tenerse facilidad para el mantenimiento y control de la base de datos, ya que dado que la información contenida se modifica frecuentemente, es indispensable que tanto la actualización como la consulta sean rápidas y sencillas.

Considerando una base de datos como la propuesta se abre la posibilidad de introducir a ella información relacionada con imágenes de satélite. Este hecho es de gran utilidad ya que se permitiría de este modo considerar cambios en el tiempo de los distintos tipos de recursos, en base a imágenes de fechas diferentes. Por ejemplo, existen ciertos cultivos que no son diferenciables entre sí en algunos períodos de su desarrollo, sin embargo, con el transcurso del tiempo esto sí es posible. Entonces si se almacena una cierta imagen de satélite en la base de datos, al tener disponibles otras imágenes, será posible obtener mayor confiabilidad en los juicios que se emitan en relación al uso actual del suelo en la región de interés. Si a esto se añade la posibilidad de considerar información adicional de otro tipo de fuentes, como se mencionó en el capítulo I, se podría llegar a usar la mayor parte del potencial de información que proporcionan las imágenes de satélite.

Es en base a lo anterior que un banco de datos para el sector agropecuario que maneje gran cantidad de información de una manera versátil y eficiente puede tener una repercusión sumamente importante en relación a la planeación agropecuaria del país, permitiendo efectuar la toma de decisiones a este respecto con mayor conocimiento de los problemas y por lo tanto con mayores probabilidades de llegar a una solución real de los mismos.

B. Otro tipo de aplicaciones

Hasta el momento sólo se ha mencionado la aplicación de bases de datos en relación a la percepción remota; sin embargo, la aplicación de las bases de datos tiene un panorama sumamente amplio. Su uso puede variar desde, por ejemplo, sistemas de inventarios para diferentes tipos de empresas, hasta aplicaciones en la medicina, biología o cualquier otra de las ramas de la ciencia. Si consideramos el caso de un sistema de inventarios, el tener una base de datos adecuada, puede permitir a una empresa ahorrar grandes cantidades de dinero, ya que se genera la posibilidad de reordenar materiales en el momento adecuado, sin tener la necesidad de invertir en existencias que en última instancia no son necesarias.

Si consideramos uno de los posibles usos de bases de datos en medicina, por ejemplo, se puede tener la posibilidad de un diagnóstico inicial en base a ciertos síntomas generales. Esto podría acelerar el tratamiento de pacientes y además uniformar criterios en cuanto a la enfermedad padecida por el paciente.

Desde luego que para cualquier tipo de aplicación, es necesario, por un lado, el conocimiento del alcance y las limitaciones de las bases de datos, y por otro un conocimiento profundo del área de la ciencia para la cual se va a aplicar la base de datos, ya que sólo así se puede llegar a un diseño que satisfaga las necesidades existentes.





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



UTILIZACION DE LOS SENSORES REMOTOS EN LA PLANEACION DE LOS
RECURSOS HIDRAULICOS

SENSORES REMOTOS Y FOTOINTERPRETACION

ING. ALEJANDRO GUZMAN A.
Marzo, 1979



I INTRODUCCION

La idea de tomar fotografías desde el aire es tan antigua como la aviación misma. El primer aeronauta y fotógrafo de que se tiene noticia fué el francés, NADAR (FELIX TOURNACHON) quien en el año de 1856 a bordo de un globo, tomó las primeras fotografías aéreas de Paris. Estas vistas no alcanzaron celebridad sin embargo las tomadas en 1858, fueron excelentes y recibieron mucha publicidad. Estas fotos fueron tomadas sobre la zona del arco del triunfo de la Estrella con Mont Martre en la lejanía y la avenida del bosque de Bolonia al pie. En 1859 NADAR, recibió proposiciones del Ministerio de la Guerra Francés, en el sentido de aplicar sus experimentos al campo militar, pero debido a sus ideas políticas declinó tal proposición.

En 1860 se tomó la primera fotografía aérea en América, del puerto de Boston, a una altura de 1260 pies (400 m), por J. W. Black desde un globo cautivo.

En 1862, se tomaron las primeras fotos aéreas para uso militar, esto aconteció durante la guerra de sucesión, en el sitio de Richmond, Virginia, en el cual el Gral. Mc. Clelland comandante de los ejércitos del norte, mandó tomar una fotografía del campo contrario mostrando todas las instalaciones militares.

De estas fotografías se sacaron 2 copias, las cuales se dividieron en 64 cuadros. Una de las copias la retuvo el Gene-

ral Mc. Clellan y la otra fué enviada a bordo de un globo con dos observadores.

El globo ascendió a 1,500 pies (500 m), y desde ese punto se telegrafiaba al general todos los movimientos de las tropas enemigas.

En 1863, en Inglaterra se tomaron las primeras fotos aéreas desde globos libres y a mayor altura de la que ascendió NADAR. Los fotografos en esta ocasión fueron, Henry Negretti y James Glaisher.

En 1886 KOVANKO en Rusia tomo las primeras fotografías de las zonas fortificadas de Kronstandt y San Petesburgo, desde un globo y de esta fecha dada la creación de la oficina de fotografía aérea del servicio de aeronautica del ejército ruso.

Las primeras fotografías aéreas tomadas desde aviones fueron hechas el 24 de abril de 1909 por Wilbur Wright, quien acompañado por un fotografo cuyo nombre se ha olvidado, voló sobre la ciudad de Centocelle cerca de Roma y tomó una serie de películas cinematográficas, (E. U.).

En Francia M. Meurisse en diciembre de 1909 empezó a efectuar ensayos semejantes.

Los rusos antes de estallar la Primera Guerra Mundial, hicieron un reconocimiento profundo en el Bósforo, Territorio de-

Turquía, utilizando aviones y tomando fotografías.

En 1914 los alemanes hicieron reconocimientos fotográfi--cos sobre Francia y el aterrizaje forzoso del Zeppelin que se--utilizaba, además de haberse encontrado cámaras de Francia, - produjo un grave incidente internacional.

El primer trabajo fotogeológico que se tiene memoria fué--realizado por Aimé Civiale, Oficial Francés del Cuerpo de Inge--nieros desde el año de 1958, empezó con diversos ensayos en - los Pirineos, hasta 1968. Prosiguió con una exploración metódi--ca de los Alpes Suizos, Franceses, Italianos y Austriacos. Su--labor fue reconocida en su aspecto científico por la Academia--de Ciencias de Paris. Para estos estudios se utilizó una cámara--fotográfica de grandes dimensiones, así como fotografías de - 30 x 40 cm. y manipulando el colodión húmedo y el papel ence--rado seco, con placas de vidrio excesivamente frágiles. Con - las fotografías tomadas logró confeccionar 25 grandes panora--mas de 14 fotografías cada una así como 450 fotografías más de--detalle, todas ellas excelentes y tomadas a grandes alturas. - De todas estas fotografías Civiale tomó catorce para ilustrar--su obra que apareció en 1882. Verificó por si solo sus inter--pretaciones fotográficas, recogiendo innumerables muestras de--rocas de los lugares que le parecían mas convenientes.

Durante la Segunda Guerra Mundial, las fotografías aéreas son de gran importancia debido a que, al no existir mapas suficientemente detallados de los lugares en donde se efectuaron operaciones militares, se usaron las fotografías aéreas no solamente para elaborar cartas geológicas si no para obtener información militar de los lugares en los cuales era difícil conocer la importancia de los efectivos militares. Al efecto la Armada de los Estados Unidos, editó una serie de manuales en los cuales se menciona el uso de las fotografías aéreas para la confección de mapas y para la interpretación fotogeológica. También se editaron manuales de uso interno para la interpretación de las características de las playas y costas y en los cuales se podían reconocer por medio de las fotografías aéreas, las condiciones del terreno para usos militares.

En Inglaterra se estableció la primera oficina de fotointerpretación desde el punto de vista militar, la cual se dedicaba a descubrir los sitios desde donde se lanzaban los ataques con bombas de tipo V-2 y también los lugares donde se ocultaban los acorazados alemanes que en aquel tiempo originaban fuertes pérdidas de barcos a los ejércitos aliados.

Sin embargo, las compañías petroleras por la urgencia que se tenía de obtener grandes cantidades de petróleo, establecie-

ron oficinas dedicadas a la interpretación fotogeológica para la búsqueda de yacimientos, esto también se hacía en cierto modo con cierto sigilo dadas las posibilidades de poder descubrir de un modo mejor grandes extensiones de terreno en las cuales era posible la existencia de estructuras sedimentarias que contuvieran hidrocarburos.

En 1956. se hicieron los primeros trabajos fotogeológicos en la República Mexicana en algunas áreas de rocas sedimentarias, del NE efectuadas en Petróleos Mexicanos por el Dr. Guerra Peña, .

En 1959, el mismo autor Guerra Peña, hace el primer intento de un estudio, para poner las bases filosóficas del método fotogeológico contenidas en "Las 12 Principales Reglas de la Interpretación Fotogeológica y las Bases Fundamentales de que se Derivan". Desde ese tiempo hasta la actualidad no se han hecho mas intentos de sistematización del método fotogeológico pero si, se ha incrementado notablemente el uso del mismo no solamente en empresas privadas y en oficinas de gobierno, sino en empresas descentralizadas dedicadas a la evaluación de los recursos naturales.

Con el advenimiento de los satélites artificiales la interpretación de las imágenes ha tomado un nuevo curso al apare

cer los sensores remotos, los cuales se pueden aplicar a las -- distintas faces de la actividad evaluativa, principalmente de - los recursos naturales, al estudio de la contaminación y fenómenos meteorológicos. Sin embargo, dado lo complicado que es el - manejo de toda esta información, se ésta actualmente en una etapa de experimentación y no se puede evaluar de un modo definitivo, la influencia que ésta tecnología puede tener en la actividad fotointerpretativa. Sin embargo las interpretaciones foto-- geológicas tomadas de una gran altitud y conocidas como fotografías espaciales, ayudan de un modo notable a conocer y comprender algunas características de la corteza terrestre, como son - las grandes fallas de carácter regional; fenómenos relacionados como aspectos tales como la distribución regional de las estructuras y rocas, algunos aspectos de la Deriva Continental y de - la Tectónica de Placas; sobre todo, aquellos fenómenos relacionados con la localización de zonas favorables para la existencia de yacimientos minerales principalmente metálicos, parece - ser que tienen cierta relación con la Tectónica Mundial.

Finalmente se puede decir que si en los tiempos de Cristobal Colón se hubieran conocido las fotografías espaciales la - existencia del Continente Americano no se hubiera supuesto en - duda y se hubiera facilitado de un modo notable la colonización de estos continentes.

II LA FOTOINTERPRETACIÓN Y SUS APLICACIONES

Las fotografías aéreas son documentos que contienen una extraordinaria cantidad de información, por lo mismo su uso no puede ser único.

El acto de observar las imágenes fotográficas de los objetos o rasgos del relieve con un fin determinado, constituye una aplicación de la fotointerpretación, que puede ser, en relación con el suelo, el agua, los vegetales, los yacimientos minerales, el vulcanismo, obras de ingeniería, etc.

Entre las múltiples aplicaciones que tiene la fotointerpretación se hace mención solamente de algunas que son:

Demografía .- En regiones de difícil acceso y con núcleos de población dispersos es útil para determinar de un modo aproximado el potencial humano.

Agricultura.- La fotointerpretación ayuda a distinguir tipos de cultivo y ciertas plagas.

Aguas Subterráneas.- Define áreas en las cuales es posible la existencia de acuíferos.

Catastro Rural.- Sirve en el reconocimiento del límite de propiedades y tipo de construcción principalmente.

Bosques.- Distingue las distintas especies y evalúa sus

características.

Arqueología.- Identifica sitios en los cuales existen -
construcciones de interés arqueológico.

Ductos para Fluidos.- Es de estimable ayuda en la planea-
ción de líneas de conducción.

Geología Regional.- Define las características geológi-
cas de grandes áreas en lo relativo a litología, estructuras-
y lineaciones.

Geología Minera.- Identifica las condiciones geológicas-
que pueden ser favorables para la localización de yacimientos
minerales.

Geología Petrolera.- Define estructuras y litologías aso-
ciadas a los yacimientos petrolíferos.

Suelos.- Factor importante en la clasificación y usos -
del suelo para fines de planeación regional.

Materiales de Construcción.- Selecciona los sitios en -
los cuales pueden existir materiales de construcción para las
grandes obras.

Vías Terrestres.- Selecciona las diversas alternativas -
para planear la construcción de un camino.

Presas.- Elemento importante para seleccionar los sitios
mas adecuados para la construcción de presas y determinar las

características geológicas en la boquilla como en el vaso.

Obras Marítimas.- Ayuda a definir los sitios en donde es posible la construcción de obras tales como: puertos.

Irrigación.- Contribuye a discriminar las condiciones -- del terreno sobre el cual se proyectó la construcción de canales.

Turismo.- Es de gran utilidad en la localización de sitios para convertirlos en centros de recreo.

Contaminación.- Determinar zonas que pueden estar afectadas por algún tipo de contaminación principalmente en cuerpos de agua.

Urbanismo.- Clasifica espacios de acuerdo con sus características económicas. Ayuda a localizar zonas para convertirlas en parques nacionales, y en la planeación de los mismos.

III ESTEREOSCOPIA

La fotointerpretación se lleva a efecto sobre el modelo tridimensional representado en las fotografías aéreas, por el efecto que produce la diferencia de paralajes. La observación del modelo puede efectuarse mediante el uso de un aparato llamado estereoscopio, el cual tiene como finalidad hacer que los ojos miren independientemente la misma imagen contenida en dos fotografías sucesivas.

Los estereoscopios según sea el sistema que se utilice - para transportar los rayos luminosos que inciden en las fotografías hasta los ojos del observador, se clasifican en: dióptricos cuando la luz reflejada por las fotografías es transportada por dos pares de espejos colocados a 45° con respecto al plano que contiene a las copias fotográficas, como se muestra en la figura. Catóptricos, cuando para observar la imagen se utilizan dos lentes de 2.5 de aumento, con una distancia focal apropiada, este tipo de estereoscopio se le conoce comúnmente como de bolsillo.

Un tercer tipo de estereoscopio es aquel que utiliza dos sistemas y que se denomina tipo Mixto.

El inconveniente del estereoscopio de lentes es que solo permite observar una tercera parte del área fotografiada, los otros tipos de estereoscopios permiten observar el total del área estereoscópica, incrementando la distancia interpupilar.

Para poder observar la imagen en el estereoscopio debe ser colocado justamente sobre un punto común en las fotografías, a continuación se mueve y gira lo necesario para lograr reunir las dos imágenes del punto y de este modo percibir el relieve tridimensionalmente.

Una vez que se ha logrado formar el modelo estereoscópico se procede a realizar el análisis de las imágenes siguiendo una metodología fundamentado principalmente en el poder de observación.

IV METODOLOGIA DE LA FOTOINTERPRETACION.

La fotointerpretación utiliza en la determinación de las características del relieve, un medio que sea capaz de registrar las radiaciones electromagnéticas que un objeto puede emitir, o modificar las emitidas por otra fuente.

El medio que puede utilizar para detectar la radiación electromagnética puede ser la fotografía aérea, o lo que se conoce como sensores remotos, obteniéndose en ambos casos un sistema de detección a distancia.

Todo sistema de detección o distancia puede analizarse bajo el siguiente esquema.

- 1.- Una fuente de radiación
 - 2.- Un medio transmisor
 - 3.- Un objeto
 - 4.- Un detector que forma la imagen
- La fuente es un medio material exitado por calentamiento como es el sol o por una vibración sostenida.

- El medio de transmisión puede ser la atmósfera
- El objeto puede ser el relieve

Un detector puede ser un cuerpo físico o un sistema capaz de absorber las radiaciones que se van a estudiar, que tenga asociado algún sistema que transforme en algo tangible esta radiación para ser registrada por los sentidos.

En el caso de la fotografía clásica, los fotones modifican la estructura de los cristales de sales de plata lo cual constituye una captura y se manifiesta por un ennegrecimiento; el revelado de la película constituye una detección.

Un Sensor Remoto, es un término que designa genericamente a una cámara o cualquier otro artefacto que permite que un objeto sea estudiado a distancia, y los objetos físicos pueden ser sensados por medio de la radiación electromagnética que pueden entrar o reflejar. La luz visible es una forma de radiación electromagnética, y otra es la radiación infrarroja invisible al ojo humano pero detectable por un equipo especial.

El acto mas importante de la fotointerpretación es observar y es necesario denominar esta actitud para que aplicando los principios del pensamiento lógico, se obtengan conclusiones correctas a los fenómenos observados.

Las sensaciones visuales se traducen en procesos genera--

les de pensar, lo cual conduce a una experiencia práctica, de acuerdo con el motivo que generó el acto de observar.

La percepción en general es una información obtenida por medio de cualquier número de sentidos que pueden ser diferentes; todos estos sentidos pueden contribuir a esta percepción pero en este caso, la visión ocular es suficiente.

La interpretación consiste en comprender una situación - poco familiar, contenida en las imágenes fotográficas proceso difícil aún cuando la situación se puede examinar, utilizando imágenes y relaciones conocidas.

Para comprender esta situación es necesario examinarla - cuidadosamente en aquellas partes que son accesibles, posteriormente se puede derivar una conjetura o hipótesis que pueda ayudar a explicar las partes que no son accesibles.

Todo trabajo de la fotointerpretación tiene que ver con el intento de comprender situaciones poco conocidas de cualquier tipo.

El hecho de utilizar algunas figuras e imágenes conocidas, permite llegar a combinaciones familiares, que tienen algún significado de acuerdo con el objetivo de la interpretación. Esta actividad mental conduce a una forma práctica de ampliar un repertorio siempre creciente de figuras y relacio-

nes conocidas que con el transcurso del tiempo permiten llegar a una mayor efectividad en el proceso fotointerpretativo.

Con el tiempo es frecuente que se den interpretaciones - con error o equivocadas, por que en los intentos de explicación se utilizan modelos demasiado familiares, que deben ser siempre reexaminados, ya que la interpretación no puede considerarse como rutinaria; cada nueva interpretación siempre es una situación desconocida.

La interpretación fotográfica se realiza generalmente en fotografías aéreas verticales, lo cual trae como consecuencia el representar a la superficie del terreno de un modo particular al que no se es familiar, por lo cual el intérprete necesita establecer una relación entre las ideas que tiene del mundo exterior y las imágenes que se presentan en las fotografías, debido a que las imágenes se presentan a una escala muy pequeña con respecto a la realidad, algunos elementos del relieve adquieren una apariencia que no se puede adivinar estando en el terreno.

Para poder llevar a efecto la relación de las ideas antes mencionadas, es necesario tener en la mente el relieve, que se manifiesta en las fotografías por:

- a) Las características físicas de las fotografías, como-

son el tono y la textura. La percepción del color es un elemento importante en el conocimiento del medio ambiente, en las fotografías en blanco y negro, los colores de los objetos se presentan en la forma de tonos de gris. aún cuando existen las fotografías aéreas en color; la fidelidad entre los colores en la naturaleza y los registrados por las fotografías no es muy buena porque tiende a predominar un tono y son afectadas de un modo notable por la luz, la cual tiende a desvirtuar la coloración que tenía originalmente cuando fue impresa en el papel. -

Los tonos de las imágenes fotográficas dependen de muchos factores, como son el ángulo de incidencia de los rayos luminosos y el ángulo con el cual son reflejados. Por ejemplo, se puede observar que en un cuerpo de agua al ser fotografiado -- puede presentar tonos que van del blanco al negro. En cuanto a la textura que se comprende como la apariencia que presentan elementos del relieve que por la escala de la fotografía, los hace aparecer inseparables dando un efecto de conjunto. Así al observar la morfología de un desierto, se sabe que está constituida por infinidad de granos de arena con varios colores, pero el fenómeno de conjunto lo hace aparecer con un tono y textura característicos. Lo mismo puede decirse de una selva - - ecuatorial, la cual aún cuando se compone de vegetales de di--

versas especies y de tamaños diversos, al estar tan juntos, - hace difícil poderlos observar individualmente dando idea de conjunto definido por su tono y textura.

b) El tamaño de los objetos, es un elemento de valor en la fotointerpretación al permitirnos hacer comparaciones con otras formas y llegar a rápidos resultados respecto al problema que se está tratando de resolver.

c) La sombra es un fenómeno muy familiar, pues en la vida cotidiana nos permite conocer la forma y el tamaño de los objetos por la sombra que esos arrojan, también ayudan acentuando la sensación de profundidad; cuando el relieve es muy escaso, las sombras son una valiosa ayuda en problemas de - - identificación.

El conjunto de los factores antes señalados permiten definir el tipo o modelo de configuración del relieve, lo cual es útil cuando se trata de establecer regionalizaciones.

d) El arreglo de los rasgos del relieve es de gran importancia en las diversas disciplinas a las cuales se aplica la fotointerpretación, en las ciencias de la tierra, puede indicar de modo inequívoco conjuntos de lineaciones debidas a la acción de la tectónica; esto también tiene relación con su tamaño y abundancia, ya que algunas veces en el terreno no pue-

den ser visualizadas de un modo rápido sino a través de reconocimientos del terreno, en las ciencias de Geografía Humana y la Antropología, el estudio de los asentamientos humanos - respecto a su arreglo, permiten conocer su distribución, para entender los fenómenos de migración e historia cultural.

e) Las lineaciones que son registradas por las fotografías aéreas pueden tener una forma regular o irregular, los primeros se componen de líneas rectas y configuraciones características, por ejemplo una línea de conducción eléctrica, un canal, una ciudad o poblado, una carretera, etc., los segundos se deben a causas naturales y las lineaciones que las componen son irregulares en su configuración.

V ELABORACION DEL MAPA BASE

Para poder representar el producto de la actividad foto-interpretativa, es necesario contar con una base cartográfica la cual puede elaborarse mediante diversos procedimientos como son:

- 1.- Por acoplamiento directo de las fotografías
- 2.- Trasladando los datos a un mosaico fotográfico, el cual puede ser rectificado o sin rectificar.
- 3.- Mediante la utilización de cartas planialtimétricas.

La elaboración de un mapa base por acoplamiento directo, se efectúa reuniendo las fotografías previamente interpretadas tratando de formar una imagen continua de los rasgos del relieve, y promediando los errores debidos al vuelo fotográfico o a las diferencias de escala, y a las diferencias del relieve.

Una vez que se han reunido las fotografías aéreas, se procede a cubrirlas con un papel semitransparente como podría ser el acetato o papel albanene, calcando directamente toda la información como sería: caminos, carreteras, ríos y arroyos, y a continuación toda la información producto de la actividad específica que puede ser: geológica, edafológica, minera, etc.

La elaboración de un mapa utilizando un mosaico fotográfico aéreo, se realiza trasladando la información producto de la fotointerpretación al mosaico fotográfico, el cual al contener la imagen fotográfica del relieve, se puede suscitar que tenga control de escala, en cuyo caso las distancias horizontales serían exactas dentro de los límites de las deformaciones producidas por la elaboración del mosaico, no así en la escala vertical que no solamente contendrá las deformaciones propias de la fotografía aérea, sino las causadas durante la elabora-

ción del mosaico. A continuación se puede retocar con tinta - e iluminar con colores la información sobre el mosaico, o bien calcarla en un papel semitransparente con las características mencionadas anteriormente.

La elaboración del mapa base, mediante la utilización de mapas planialtimétricos, tiene una doble ventaja. primero el relieve representado por curvas de nivel representa con bastante realidad el relieve que se observa en las fotografías aéreas de tal modo que el traslado de los datos a este tipo de mapas, puede realizarse observando directamente el mapa, y las fotografías para que por, simple inspección se pueda trasladar la información. La segunda, es que estos mapas planialtimétricos tienen control exacto en ambas escalas, es decir vertical y horizontal, y por lo tanto se pueden obtener diversas conclusiones al contemplar el conjunto de los datos vaciados sobre el mapa. La elaboración del mapa finalmente se obtiene colocando total o parcialmente la información fotográfica de acuerdo con las necesidades que se tengan.

Simbolos y Leyenda

La correcta interpretación de un mapa, sea cualquiera el uso que se le vaya a dar, depende fundamentalmente de la comprensión del significado de una simbología, la cual puede ser de distinta categoría, de acuerdo con el objeto del plano o ma

pa. De este modo tendremos símbolos topográficos, los cuales nos ayudarán a comprender el significado de líneas que representan accidentes del terreno, o características del relieve, o bien de obras tales como: ciudades, poblados, presas, ferrocarriles, acueductos, etc. Aunando a esa simbología, existe otra que agrupada de un modo secuencial ayuda a comprender -- el significado del mapa en términos del objeto del mismo, como pueden ser: desde el punto de vista geológico, edafológico forestal, hidrológico, etc. Aún cuando esta simbología y leyenda puede considerarse como común para todo tipo de mapas, sin embargo dadas las características particulares del objeto de la interpretación, suelen variar de acuerdo con la diversidad de rasgos o las variaciones de los mismos, por tanto los mapas suelen tener simbologías y leyendas distintas en algunos aspectos, pero justificados de acuerdo con las características del objetivo de la fotointerpretación.

VI VERIFICACION DE LA FOTINTERPRETACION

La fotointerpretación no puede considerarse como sustituto del trabajo de campo, porque aún cuando se disponga de gran experiencia en el desarrollo de esta actividad, siempre es necesario establecer los vínculos entre las imágenes obser

vadas durante la fotointerpretación y las formas del relieve, lo cual ayuda a tener una idea bastante precisa de la escala de los fenómenos que se están observando.

Durante la fotointerpretación, es conveniente indicar aquellos sitios que por la caracterización del problema que se está resolviendo, es necesario tomar datos directamente en el campo. pero como el acto de la fotointerpretación implica una visión de conjunto o sea de síntesis de carácter informativo, y puesto que el trabajo de campo tiene que hacerse muchas veces bajo condiciones diversas de acceso y clima, el hecho de escoger los puntos en los cuales se pueden obtener los datos suficientes para el objeto del estudio, reduce de un modo notable la estancia en el campo. y optimiza la calidad de la información para elaborar finalmente ya sea un mapa final o para plantear las actividades posteriores, de acuerdo con el objetivo de la fotointerpretación.

La secuencia para efectuar un trabajo de verificación incluye varios aspectos.

- 1.- Compilar la información existente ya sea desde el punto de vista bibliográfico en relación con el objeto de la interpretación.

- 2.- Elaboración de un programa preliminar de verificación señalando en el mapa por verificar. caminos de acceso y lugares inmediatos en donde obtener la información en el campo, la

posibilidad de instalar algún campamento y el número aproximado de días de distancia en el campo.

3.- Una vez que se llega al área objeto del estudio, se procede a realizar un recorrido preliminar con el objeto de familiarizarse con el área y conocer las características de las vías de acceso.

4.- La actividad de realizarse enseguida, es la verificación de la información contenida en las fotografías, mediante la ubicación correcta del lugar en las fotografías. Este procedimiento es muy importante pero a veces es difícil, sobre todo cuando el área es sumamente accidentada, existe una gran cantidad de vegetación, o es muy plana y no existen elementos de referencia. Para poderse situar correctamente en las fotografías, se puede adoptar el procedimiento consistente en ir identificando accidentes del terreno, siguiendo los contornos de un camino, tratando de encontrar curvas o cruces con ríos y a partir de esos puntos, poder reconocer las elevaciones características, estableciendo de esta manera grandes puntos. Cuando no es posible identificar a las grandes elevaciones podrán ubicarse algunos elementos tales como casas, alguna obra minera o cualquier accidente que aparezca claramente en las fotografías. En regiones sumamente pobladas de vegeta-

ción, la ubicación correcta es muy difícil por la imposibilidad de observar el relieve, arriba de la vegetación, o bien - porque las zonas vegetadas y las que han sido destruidas para sembrar y que aparecen claramente discernibles en las fotografías, cambia estacionalmente. Para el efecto de la ubicación - sera necesario adoptar otro procedimiento como es el de que - a partir del punto en que se encuentra el observador, poder - identificar alguna vuelta de un río, algún camino que aparezca mas o menos claro o algún poblado o conjunto de casas aisladas, y desde ahí con la brújula, trazar radiaciones convergentes al punto que se quiera identificar. En una región muy plana en la cual es necesario ubicarse, la manera de realizar esta actividad, es mediante la identificación de alguna vía de comunicación importante alguna identificación o bien alguna - prominencia topográfica notable, y siguiendo un procedimiento similar al que se utiliza para la orientación de una plancheta, se orienta aproximadamente la fotografía con los rasgos - antes mencionados, y desde ahí se pueden trazar líneas convergentes. que nos darán una posición aproximada del lugar en - donde se está haciendo la observación.

En cada sitio en donde se realiza alguna observación deben recolectarse los datos necesarios de acuerdo con el propósito de verificación, haciendo la descripción de los elemen--

