

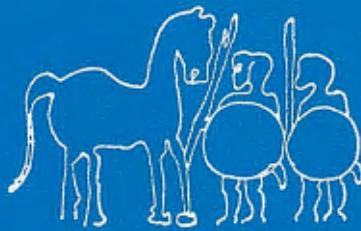
INSTITUCION CULTURAL DE CANTABRIA

ANALES

DEL

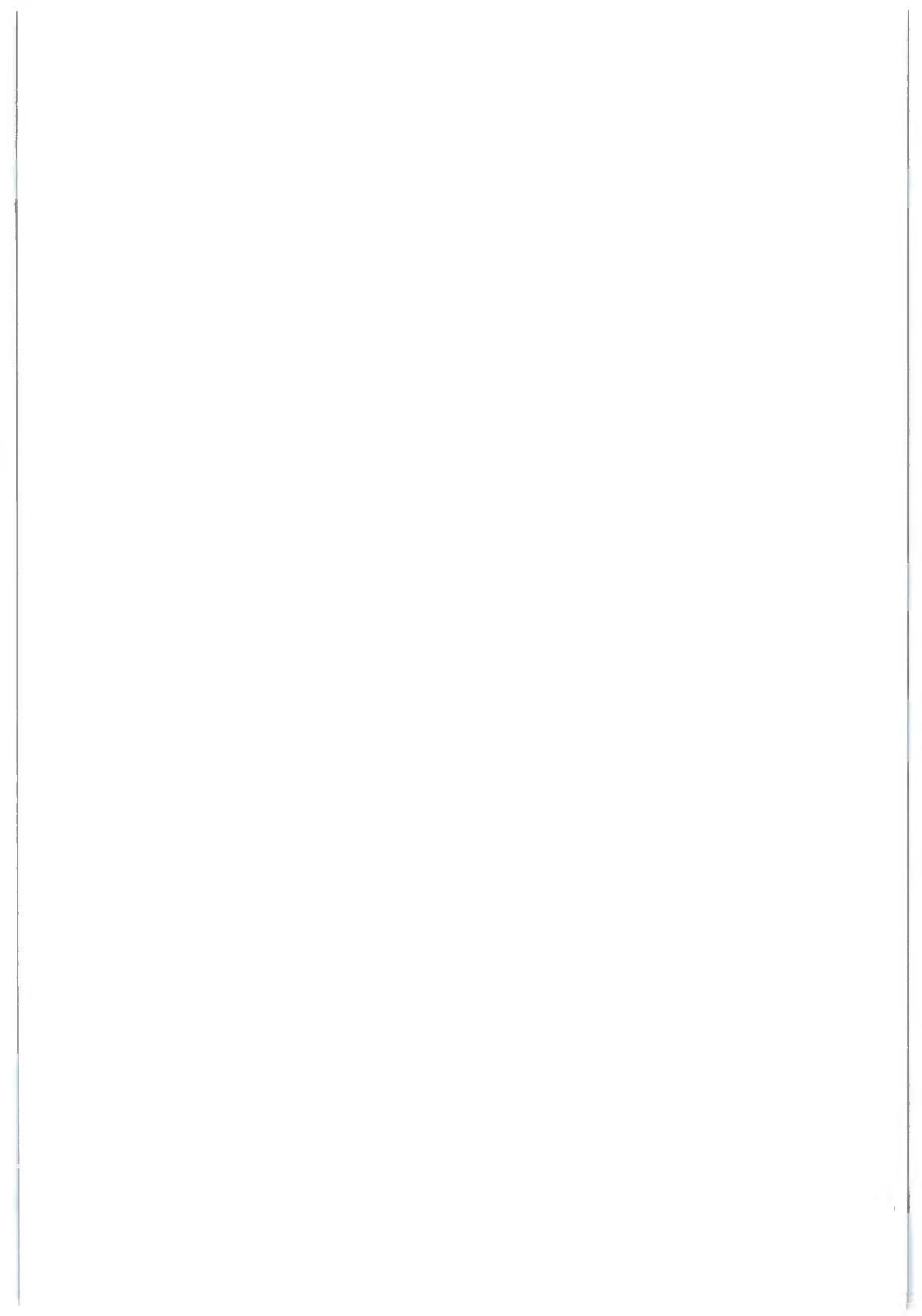
INSTITUTO DE ESTUDIOS INDUSTRIALES, ECONOMICOS
Y DE CIENCIAS "TORRES QUEVEDO"

Vol. II



DIPUTACION PROVINCIAL DE SANTANDER

1977 - 1978



ANALES
DEL
INSTITUTO DE ESTUDIOS INDUSTRIALES, ECONOMICOS
Y DE CIENCIAS "TORRES QUEVEDO"

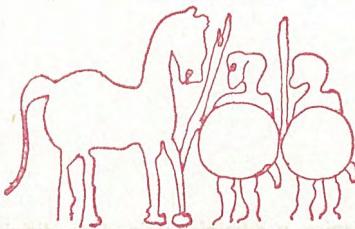
INSTITUCION CULTURAL DE CANTABRIA

ANALES

DEL

INSTITUTO DE ESTUDIOS INDUSTRIALES, ECONOMICOS
Y DE CIENCIAS "TORRES QUEVEDO"

Vol. II



DIPUTACION PROVINCIAL DE SANTANDER

1977 - 1978

Director:

Manuel Noguerol Pérez

- La correspondencia técnica y administrativa debe dirigirse al Director de la publicación: Instituto de Estudios Industriales, Económicos y de Ciencias "Torres Quevedo". en la Diputación Provincial de Santander.
- El contenido de los artículos es de exclusiva responsabilidad de sus autores.

S U M A R I O

	PAGS.
P. FERNANDEZ - M. MORENO - E. VILLAR, <i>Estudio de la difusión del carbono en el hierro gamma</i>	9-35
S. BRACHO - M. GUTIERREZ, <i>Estimulador Programable para Neurofisiología en un Microprocesador I 4004</i>	37-81
S. BRACHO - M. GUTIERREZ, <i>Ensamblador-grabador para el sistema MCS-4</i>	83-111
S. GARCIA POSADA - A. GARCIA SENCHERMES - A. DE SANDOVAL - E. VILLAR, <i>Niveles de ruido originados por el tráfico rodado en la ciudad de Santander</i>	113-143
E. LORIENTE ESCALLADA, <i>La vegetación halófila de las marismas de Cantabria</i>	145-163
L. BRAVO - R. NIEMBRO - A. RUIZ - E. VILLAR, <i>Descriminación mediante métodos de ionización de trazas relativistas procedentes de interacciones de O_8^{16} con los núcleos de la emulsión</i>	165-183
M.ª G. SAIZ DE OMEÑACA - P. MANTILLA, <i>Los hayedos del Valle de Liébana</i>	185-197

“ESTUDIO DE LA DIFUSION DEL CARBONO
EN EL HIERRO GAMMA”

por

P. FERNÁNDEZ
M. MORENO
E. VILLAR

Departamento de Física Fundamental
Facultad de Ciencias
Universidad de Santander

I.—INTRODUCCIÓN

El objeto del presente trabajo es el de estudiar la difusión del carbono en el hierro gamma, fenómeno que permite la acumulación de carbono en la periferia de los aceros, mejorando sus características mecánicas, sobre todo su dureza. Hemos intentado seguir la marcha de este fenómeno con ayuda de la ecuación de difusión de Fick, y como un primer paso para continuar el estudio de la difusión de cualquier otro elemento, basándonos en un mismo modelo cristalino, dado su gran interés industrial. Se ha elegido el estado de gamma del hierro, debido a los fenómenos de cementación que tienen lugar en él, considerando que una de las temperaturas tipo para estas cimentaciones, 925° C, era accesible por nosotros. Manteniendo esta temperatura fija, hemos variado los tiempos de permanencia de las muestras, desde 2 a 80 horas, realizando una toma de datos dentro del campo industrial, no superior a 10 horas y observando la penetración para tiempos mucho mayores (hasta 80 horas) con el único objeto de hacer crecer desmesuradamente el grano, y ver su influencia en la difusión. El tiempo de calentamiento ha sido de 1 hora 45 minutos en todos los tratamientos, y de 5 horas el tiempo de enfriamiento.

Los resultados obtenidos los hemos comparado con los propios del monocrystal de hierro gamma, teniendo presente que nuestro estudio se realiza en un policristal y que tanto la composición química, como la superficie de cada grano va a variar de acuerdo con las condiciones iniciales del experimento.

II.—TÉCNICAS EXPERIMENTALES

Se han preparado 45 probetas cilíndricas de acero de diámetro 20 cm., y longitud 20 mm. El acero tenía la siguiente composición química en %: carbono, 0,04; manganeso, 0,28; silicio, 0,02; fósforo, 0,02; azufre, 0,025; cromo, 0,02.

PENETRACION mm	TIEMPO horas	% CARBONO																
		Calef. 723°C		Calef. 925°C														
		0,21	0,44	0,64	0,72	0,78	0,83	0,88	0,93	1,06	1,13	1,19	1,24	1,26	1,28	1,28	1,28	
0,1		0,38	0,60	0,69	0,755	0,81	0,865	0,96	1,04	1,115	1,17	1,23	1,25	1,27	1,28	1,28	1,28	
0,2		0,26	0,51	0,62	0,69	0,75	0,825	0,92	1,015	1,09	1,14	1,21	1,23	1,25	1,27	1,27	1,275	
0,3		0,10	0,36	0,50	0,60	0,66	0,77	0,87	0,98	1,06	1,11	1,18	1,21	1,23	1,25	1,25	1,25	
0,4		0,22	0,37	0,50	0,565	0,69	0,82	0,93	1,02	1,07	1,15	1,17	1,20	1,23	1,23	1,23	1,23	
0,5		0,13	0,28	0,40	0,475	0,61	0,77	0,87	0,97	1,03	1,11	1,13	1,17	1,19	1,21			
0,6		0,06	0,19	0,32	0,39	0,53	0,71	0,82	0,91	0,98	1,06	1,09	1,13	1,16	1,18			
0,8			0,06	0,175	0,24	0,38	0,56	0,68	0,80	0,98	0,96	1,00	1,06	1,09	1,11			
1,0				0,07	0,13	0,25	0,40	0,53	0,66	0,76	0,84	0,90	0,97	1,01	1,04			
1,2					0,14	0,25	0,36	0,50	0,61	0,71	0,77	0,86	0,93	0,97				
1,4						0,04	0,14	0,24	0,36	0,46	0,59	0,65	0,74	0,85	0,90			
1,6							0,13	0,24	0,34	0,47	0,53	0,63	0,76	0,83				
1,8								0,15	0,23	0,37	0,43	0,53	0,68	0,76				
2,0									0,07	0,14	0,27	0,34	0,45	0,61	0,68			
2,5										0,09	0,15	0,29	0,43	0,52				
3,0											0,12	0,26	0,37					
3,5												0,12	0,22					
4,0													0,11					
4,5																		
5,0																		
	TIEMPO	125	45	2	4	6	8	10	12	16	20	24	28	32	36	48	64	80
	horas																	

Tabla I

Mientras la difusión controla la cinética de la reacción cementante, las condiciones de equilibrio entre la fuente de carbón y la superficie de hierro gamma son las que deciden si el carbono cedido por la fuente puede o no ser absorbido. La capa superficial posee en cada instante un contenido en carbono definido por $C(o)$ (concentración para una penetración $x = 0$), el cual junto con la temperatura T y el tiempo t nos van a determinar el crecimiento de la capa cementada.

La acción del cementante durante el tratamiento viene referida a dos factores: a) factor termodinámico, que da lugar al potencial de carbono en la periferia; es decir, que tiene que ser capaz de proporcionar el carbono que nos exija el diagrama Fe-C; b) factor cinético, que da lugar a la actividad del carbono; también se conoce como coeficiente de transferencia de carbono.

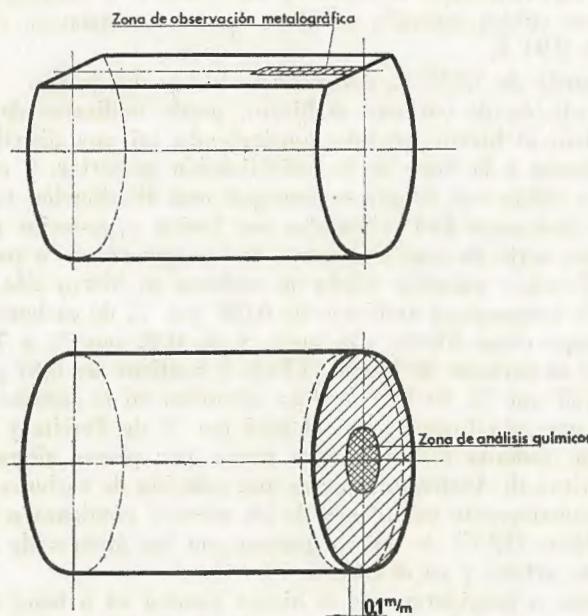


Fig. 2

El primero expresa el valor límite constante que se alcanza en la superficie del acero a una temperatura dada, es decir, la tensión de vapor del carbono en equilibrio con la fase sólida del hierro gamma. El segundo indica la velocidad con que el carbono aplicado por el medio cementante llega a la superficie del hierro gamma para difundirse a través de la misma. Hemos comprobado que el tiempo necesario para llegar a este equilibrio es superior a las 16 horas. En la industria para que sean menores, se hace uso de activadores.

III.—VARIEDADES DEL HIERRO, CONSTITUYENTES DE LOS ACEROS Y DEFECTOS EN LOS CRISTALES

El hierro cristaliza en la variedad alfa hasta una temperatura de 768° C, sistema cúbico centrado en el cuerpo (CC), siendo la distancia interatómica del orden de 2,86 Å, y no disuelve prácticamente carbono, ya que a la temperatura ambiente su solubilidad no supera el 0,008 por % de carbono.

La variedad beta existe desde los 768 a los 910° C y desde un punto de vista cristalográfico es exactamente igual que la alfa, variando únicamente las distancias interatómicas, que son de 2,9 Å a 800° C y 2,905 Å a 900° C.

La variedad gamma se presenta de 910 a 1.400° C y cristaliza en el sistema cúbico centrado en las caras (CCC), siendo la distancia interatómica de 3,60 Å a 910° C, y 3,68 Å a 1.400° C.

La variedad delta se inicia a los 1.400° C y finaliza con la fusión del hierro; es cúbica centrada en el cuerpo, y su distancia interatómica es del orden de 2,94 Å.

A partir de 1.539° C, comienza la fusión del hierro.

La adición de carbono al hierro, puede realizarse de dos formas, una, añadiéndolo al hierro fundido consiguiendo así una distribución más o menos uniforme a la hora de la solidificación posterior, y otra, difundiéndolo en estado sólido con lo que se consigue una distribución no uniforme.

Las aleaciones Fe-C obtenidas por fusión y posterior solidificación, contienen una serie de contribuyentes, de los que vamos a mencionar sólo cuatro: a) Ferrita: solución sólida de carbono en hierro alfa, siendo su solubilidad a la temperatura ambiente de 0,008 por % de carbono, por lo que suele considerarse como hierro alfa puro, y de 0,02 por % a 723° C; b) Cementita: que es carburo de hierro (CF₃), y contiene un 6,67 por % de carbono y un 93,33 por % de hierro alfa; cristaliza en el sistema ortorrómbico; c) Perlita: que está formada por el 86,5 por % de Ferrita y el 13,5 por % de Cementita, estando formado cada grano por placas alternadas de Cementita y Ferrita; d) Austenita: que es una solución de carbono de hierro gamma, y es el constituyente más denso de los aceros; comienza a formarse por cristales cúbicos (CCC) de hierro gamma con los átomos de carbono intercalados en las aristas y en el centro.

Vamos a considerar que el hierro gamma va a tener en su constitución una gran cantidad de defectos puntuales de tipo Frenkel, en los que un átomo pasa de un lugar a otro de la red, que es una posición de inserción, y que a su vez no está ocupada por ningún otro átomo; como vamos a comprobar, este tipo de defecto es el causante de la difusión del carbono en la red del monocrystal de hierro gamma, difusión en la que son muy importantes las consideraciones de tamaño, ya que no sólo nos van a limitar la existencia de átomos intersticiales, sino que además la probabilidad de que un salto suceda va a depender del impedimento impuesto al movimiento por los átomos de cuello entre las posiciones intersticiales, y de aquí, que cuando el contraste en las dimensiones atómicas es importante, se puede dar este tipo de difusión.

Para la red del hierro gamma, el diámetro atómico de los átomos de la red vale $a\sqrt{2}/2$, siendo "a" la distancia interatómica, y tomaremos como diámetros atómicos de comparación, las distancias atómicas del hierro gamma

en su propia red, cúbica centrada en las caras. Los mayores espacios libres están situados en los centros de las aristas de la red, en donde cada átomo de carbono intersticial va a tener a su alrededor 6 átomos de la red distantes $0.5a$, por lo que el tamaño relativo a los átomos de soluto que tienen que intercalarse entre átomos de diámetro a $\sqrt{2}/2$ es:

$$a - a\sqrt{2}/2 = 0.293a$$

Para nuestro caso, el parámetro de la red del hierro gamma es $a = 3.61 \text{ \AA}$ que nos da un diámetro atómico de comparación para el hierro, supuesto esférico, de 2.54 \AA , como el diámetro atómico de comparación del carbono vale 1.4 \AA aproximadamente, encontramos la relación:

$$\frac{\text{Diámetro atómico del carbono}}{\text{Diámetro atómico del hierro}} = \frac{1.40}{2.54} = 0.55$$

por lo que la difusión del carbono en el hierro gamma sí que es de tipo intersticial.

Siendo el radio atómico $r = a\sqrt{2}/2$, el volumen ocupado por los átomos de hierro gamma será: $V_{\text{Fe}} = 0.74 a^3$, y por tanto, el volumen vacío será del orden del 26 por %.

Tanto la ferrita como la austenita son soluciones sólidas intersticiales; el radio máximo del soluto supuesto esférico sería: (fig. 3-a)

$$r_{\text{sóluto}} = \frac{a}{4} \sqrt{5} - a \frac{\sqrt{3}}{4} = 0.126 a$$

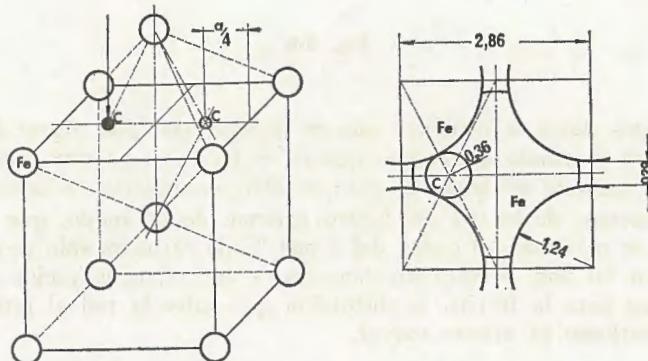


Fig. 3-a

El valor de la distancia interatómica para el hierro gamma vale $a = 2.86 \text{ \AA}$, por lo que el radio máximo del soluto tiene que ser

$$r = 0.126 \times 2.86 \text{ \AA} = 0.36 \text{ \AA}$$

Para la austenita, el espacio vacío de mayor tamaño se encuentra situado en una arista, en el punto medio del espacio vacío que existe entre dos átomos de hierro gamma; suponiendo que el átomo de soluto que se introduce es esférico, el radio máximo $\frac{x}{2}$ que se podría tener para que cupiera exactamente sería:

$$x = a - 2 \frac{a \sqrt{2}}{4} = 0,293 a$$

y como el valor de a para el hierro gamma es: $a = 3,612 \text{ \AA}$, nos queda como radio máximo del soluto:

$$r_{\text{sóluto}} = \frac{0,293 \cdot 3,612}{2} = 0,53 \text{ \AA}$$

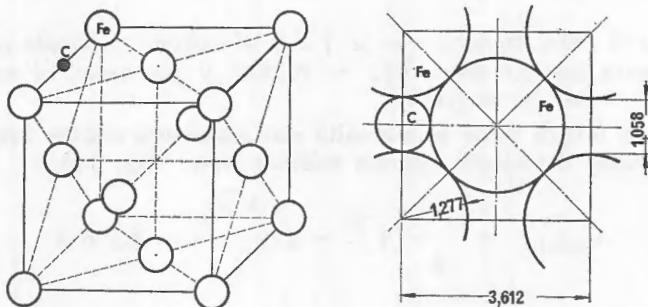


Fig. 3-b

Con estos datos se concluye que es mucho más fácil lograr la difusión intersticial en el estado austenítico que en el ferrítico, ya que como el radio atómico del carbono es de $0,7 \text{ \AA}$, cuando están en solución en la austenita se paran los átomos de la red del hierro gamma, de tal modo, que cuando la solubilidad es máxima, del orden del 2 por % de carbono, sólo se encuentran ocupados un 10 por % aproximadamente de los espacios vacíos de la red, mientras que para la ferrita, la distorsión que sufre la red al introducir un átomo de carbono es mucho mayor.

IV.—ENERGÍA DE ACTIVACIÓN Y DIFUSIÓN EN PROFUNDIDAD

Cada átomo de hierro gamma está sometido a vibraciones alrededor de su posición de equilibrio, la amplitud de cuales varía con la temperatura; los átomos de carbono tienen que sobrepasar una cierta barrera de potencial

para poder desplazarse dentro de la red del hierro gamma, la energía que se precisa es la energía de activación, la cual será tanto más pequeña cuanto más elevada sea la temperatura a que sometamos a los átomos de hierro gamma.

A los 925°C, las distancias interatómicas de la malla del hierro gamma se han dilatado lo suficiente para que el gradiente del potencial químico, que es la fuerza motriz de la difusión, actúe; los átomos de carbono tienen que pasar entre los átomos de hierro gamma en un espacio sumamente estrecho, por lo que esta energía es principalmente de deformación. Para el hierro gamma el valor de esta energía oscila entre 0,9 y 1 eV. para la difusión del carbono; como el valor de la energía térmica media de un átomo a una temperatura $T \approx 1.000$ °K es del orden de 0,1 eV, el movimiento a través de la barrera requiere una gran fluctuación de energía, por lo que la frecuencia de salto f de un átomo de carbono viene controlada por estas fluctuaciones. Si es v la frecuencia de vibración de un átomo de carbono, la mayor parte de las veces es de suponer que su energía es demasiado pequeña para poder atravesar la barrera de potencial, pero ocasionalmente puede elevar su energía a Q y cruzarla. La frecuencia de salto f_{mi} , para el caso de la difusión intersticial viene dada para un átomo de carbono, por:

$$f_{mi} = v \exp (-Q/k.T)$$

(k = cte de Boltzmann)

y como un átomo de carbono puede saltar a 12 posiciones intersticiales distintas, (fig. 4), en el hierro gamma, resulta que la frecuencia de salto total viene dada por:

$$f_m = 12 \times v \exp (-Q/k.T)$$

en donde v es del orden de 10^{13} vibraciones por segundo.

Si para nuestro caso tomamos 0,93 eV como energía de activación se obtiene:

$$f_m = 1,11 \times 10^{10} \text{ saltos por segundo}$$

De haber considerado la difusión por vacantes, habríamos obtenido una frecuencia de:

$$f = 1,03 \times 10^6 \text{ saltos por segundo}$$

y de aquí, el que a 925°C el fenómeno de difusión sea principalmente de tipo intersticial, ya que tan solo unos pocos átomos de carbono se difunden ocupando las vacantes creadas a esa temperatura.

Un sencillo modelo de difusión considerando un enorme número de átomos, consiste en suponer que los saltos individuales son iguales, que la red tiene alta simetría y que el movimiento de un átomo entre todas las direcciones cristalográficas es al azar.

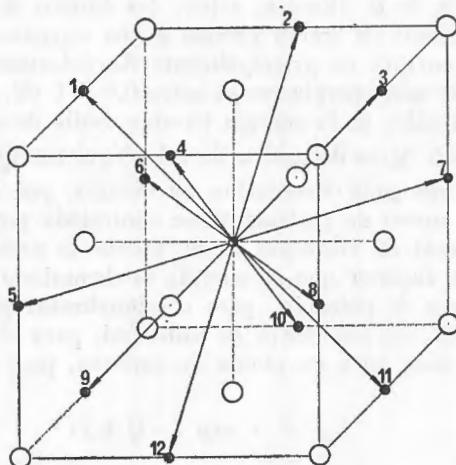


Fig. 4

En primer lugar consideramos que la difusión es unidireccional. La distancia media de salto tiene que ser cero. De aquí el que tengamos que considerar la media cuadrática:

$$\langle x^2 \rangle = n d^2$$

que podemos poner también de la forma:

$$\sqrt{\langle x^2 \rangle} = \sqrt{f' t d^2} = \sqrt{2 D t}$$

en donde f' = frecuencia de salto, t = tiempo requerido para que el átomo pueda realizar los n saltos, y $D = \frac{1}{2} f' d^2$ el coeficiente de difusión monodimensional.

Para tres dimensiones podemos poner:

$$\sqrt{\langle x^2 \rangle} = \left(\frac{f t d^2}{3} \right)^{\frac{1}{2}}$$

siendo el coeficiente de difusión $D = \frac{f d^2}{6}$

Para la difusión intersticial será: (Fig. 5)

$$D = \frac{12 \times v \cdot \exp(Q/kT)}{6} d^2 = D_0 \exp(-Q/kT)$$

$$\text{con } D_0 = \text{factor de frecuencia} = \frac{12 v d^2}{6} = 2 v d^2$$

siendo el orden de magnitud de D_0 para el hierro gamma de:

$$D_0 = 2 \times (2,54^2 \times 10^{-20}) \times 10^{13} = 1,30 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

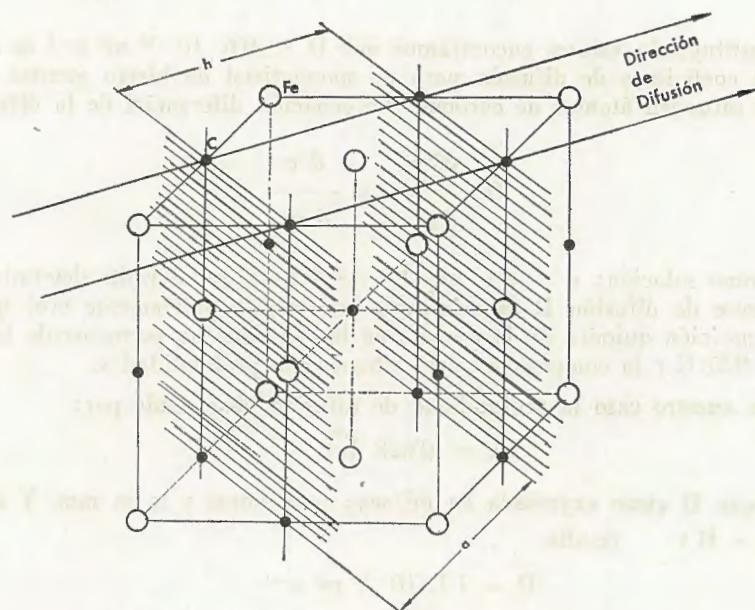


Fig. 5

A través de los planos en los que la difusión es más probable, (Fig. 5), el flujo neto unidireccional de átomos de carbono por segundo dN/dt viene

definido por:

$$\frac{dN}{dt} = - \frac{L^2 h^2 f}{2} \frac{dc}{dx}$$

en donde dc/dx es el gradiente de la concentración de átomos de carbono, L^2 la sección del plano que estamos considerando y h la longitud o alcance del salto.

Para el salto tridimensional, como cada átomo de carbono puede saltar a 12 posiciones intersticiales distintas, tendremos (fig. 4-5)

$$\frac{dN}{dt} = - D \frac{dc}{dx}$$

en donde hemos supuesto que $L^2 = 1$, y el valor de $D = \frac{h^2 f}{12}$

Sustituyendo valores encontramos que $D = 0'6 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ es el valor del coeficiente de difusión para un monocrystal de hierro gamma en el que se difunden átomos de carbono. La ecuación diferencial de la difusión:

$$D \frac{d^2 c}{dx^2} = \frac{dc}{dx}$$

tiene como solución: $c = c(0) \exp [-x^2/4 D t]$ que permite determinar el coeficiente de difusión D experimental, conociendo previamente $c(0)$ que es la composición química de la probeta en la zona que ha permanecido la probeta a 925°C y la composición del carbono a la profundidad x .

En nuestro caso la profundidad de difusión viene dada por:

$$x = 0'628 \sqrt{t}$$

en la que D viene expresada en $\text{m}^2/\text{seg.}$, t en horas y x en mm. Y siendo $\langle x^2 \rangle = D t$ resulta

$$D = 1'1 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

de la que se deduce una energía de activación de $0,94 \text{ eV}$, en consonancia con la de partida y una profundidad de penetración:

$$x = 1,1 \cdot 10^{-5} \sqrt{t} \text{ metros}$$

cuando t se expresa en segundos que es una función parabólica que sólo tiene sentido para valores positivos de x .

V.—CURVAS DE DIFUSIÓN

Las curvas de difusión que se muestran al final del trabajo, se han construido tomando sobre el eje de abscisas las penetraciones en mm. y sobre el de ordenadas los porcentajes de carbono.

Las curvas A están realizadas tomando un coeficiente de difusión que se corresponde con la media general total de todos los coeficientes de difusión de todas las curvas.

Las curvas E se corresponden con la ecuación de la difusión pero utilizando el coeficiente medio de cada curva.

En las curvas D se ha tomado un coeficiente de difusión único para todas ellas, de la forma:

$$D = 6 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

que se ajusta bastante bien al final de las curvas, para grandes tiempos de cementación.

Las curvas B corresponden a un coeficiente de difusión compensado, de la forma:

$$D = [6 \cdot 10^{-12} - \langle E \rangle] \frac{x}{5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

de donde $\langle E \rangle$ es el coeficiente de difusión medio de cada curva, interviiniendo el valor x por depender la difusión de la profundidad.

Para difusiones de 2, 4 y 6 horas, las curvas E, que utilizan un coeficiente de difusión medio propio de cada curva, son las que mejor se aproximan en la parte periférica, y las A y D discrepan mucho de los datos experimentales.

Para las curvas de 8, 10 y 12 horas, las que mejor se ajustan son las B, en las que hemos utilizado un coeficiente de difusión compensado; las curvas E caen por debajo de los datos experimentales, y las curvas D siguen sin tener ningún interés.

A partir de las 16 horas, ninguna de las curvas tienden a ajustarse a los datos experimentales en su totalidad.

Para la curva de 32 horas, se observa que la A está muy por debajo de los datos experimentales, a pesar de estar construida con el coeficiente medio general de difusión.

Para tiempos aún mayores, los datos se ajustan a la curva A hasta 0,8 mm. de profundidad, y ya no se vuelve a tener ninguna relación con las demás curvas dibujadas, salvo para la D en zonas más internas, aunque sin ajustarse a ellas. De todo ello puede asegurarse que este proceso de difusión no puede describirse por un coeficiente de difusión único, como cualquiera de los utilizados en los que no se han tenido en cuenta la variación de composición con la profundidad, la variación de los constituyentes, el tiempo de tratamiento y sobre todo la variación del tamaño de grano con la temperatura y con el tiempo.

Todas las minifotografías han sido tomadas a 100 aumentos.

En la Tabla II se expone el estudio del tamaño de grano utilizando las normas ASTM.

Número ASTM	Granos por pulgada cuadrada a 100 aum.	Granos por mm. ²	Superficie por grano en micras cuadradas
1	1	16	62.000
2	2	32	31.000
3	4	64	15.000
4	8	128	7.800
5	16	256	3.900
6	32	512	1.950
7	64	1.024	980
8	128	2.048	490

Tabla II

De todos los experimentos realizados, citaremos sólo los correspondientes a 2, 8, 16, 48 y 80 horas de tratamiento, por considerarlos más característicos.

Así para 2 horas de permanencia, observamos que la profundidad de penetración del carbono viene siendo del orden de 0,3 mm., el tamaño de grano en la periferia apenas ha variado respecto al del núcleo (tamaño de ferrita).

Para la de 8 horas, ya comienza a observarse un aumento del tamaño de grano periférico (n.^o 5); la zona periférica es casi totalmente perlítica.

Para 16 horas, en la periferia se mantiene el tamaño de grano n.^o 5, pero la zona de separación de los granos de perlita ya no es de ferrita, sino de cementita secundaria; en la zona no cementada, el tamaño de grano es del n.^o 7.

Para 48 horas, tenemos que en la zona periférica se ha conseguido el potencial de saturación del carbono, y el tamaño del grano es ahora del n.^o 3; a 0,2 mm. de profundidad aparece una zona difusa, cono de turbulencias, en la que no aparece definido el borde de los granos, los cuales vuelven a estar delimitados a partir de 1,1 mm. aproximadamente, en donde la composición se corresponde con el eutéctico y en donde el tamaño de grano sigue siendo del n.^o 3; a partir de aquí aparecen granos de ferrita y perlita hasta la zona no cementada. Parece como si en la zona 0,2-1,1mm. el tamaño de grano permanece constante, aunque no se puede afirmar por no poderse apreciar borde alguno. Utilizando otras técnicas, las holográficas por ejemplo, es posible que se pueda detectar un borde de grano y comprobar si el tamaño de grano permanece constante.

Para 80 horas, aparecen las mismas zonas que para 64 horas, pero con un tamaño de grano del n.^o 1. Observamos que para grandes tiempos aparecen tres zonas perfectamente diferenciadas desde el punto de vista metalúrgico, dato por otra parte comprobado con la ayuda de los análisis químicos y el diagrama Fe-C.

VI.—DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A partir de los datos experimentales y a partir de la ecuación de difusión hemos obtenido unos coeficientes medios de difusión para cada curva, cuyos valores son los siguientes:

$D_1 = 2,35 \times 10^{-12}$	$m^2/seg.$	para	2 horas
$D_2 = 2,70 \times 10^{-12}$	"	"	4 "
$D_3 = 2,95 \times 10^{-12}$	"	"	6 "
$D_4 = 3,15 \times 10^{-12}$	"	"	8 "
$D_5 = 3,25 \times 10^{-12}$	"	"	10 "
$D_6 = 3,85 \times 10^{-12}$	"	"	12 "
$D_7 = 4,00 \times 10^{-12}$	"	"	16 "
$D_8 = 4,15 \times 10^{-12}$	"	"	20 "
$D_9 = 4,40 \times 10^{-12}$	"	"	24 "
$D_{10} = 4,25 \times 10^{-12}$	"	"	28 "
$D_{11} = 4,95 \times 10^{-12}$	"	"	32 "
$D_{12} = 4,93 \times 10^{-12}$	"	"	36 "
$D_{13} = 4,48 \times 10^{-12}$	"	"	48 "
$D_{14} = 4,70 \times 10^{-12}$	"	"	64 "
$D_{15} = 4,75 \times 10^{-12}$	"	"	80 "

De estos resultados se deduce que el coeficiente medio de difusión para 2 horas viene siendo mitad del correspondiente a 80 horas, y que a partir de un cierto tiempo tiende a estabilizarse, con valores comprendidos entre $4,4 \times 10^{-12}$ a las 24 horas, y $4,75 \times 10^{-12}$ a las 80 horas, lo cual comienza a suceder cuando el potencial de carbono en la superficie es próximo al 1,29 por %, por lo que resulta muy conveniente alcanzar lo antes posible a este potencial máximo, que por otro lado reduce el tiempo de tratamiento, pudiéndose conseguir una reducción en el tamaño de grano con la consiguiente mejora en las características del material.

A su vez, los datos de los que hemos partido para el estudio del monocrystal, nos dan para una energía de activación de 0,93 eV y 925° C, un coeficiente de difusión

$$D_{\text{monocrystal}} = 1,2 \cdot 10^{-10} \text{ } m^2 \text{ s}^{-1}$$

valor que es mucho mayor que el que se deduce de los experimentos, por lo que sacamos conclusión de que la difusión policristalina tiene que venir regida por otros mecanismos distintos de los que hemos supuesto para el monocrystal, entre los que podemos destacar los siguientes:

1.) La posible formación de compuestos químicos en forma de granos de carburo de hierro, sobre todo en las zonas próximas a la periferia.

2.) Los efectos de frontera de los granos, en donde la existencia de un gran número de dislocaciones allí acumuladas va a crear a su alrededor campos de tensión.

3.º) A su vez los fenómenos de germinación implican la formación de granos anormales, en los que los procesos de crecimiento repentino de algunos granos modifican extraordinariamente la estructura cristalográfica, disminuyendo la frontera intergranular, lográndose precisamente en las zonas periféricas de la probeta, en donde el contenido de carbono es mayor, sobre todo para tiempos relativamente grandes.

Respecto a la energía de activación, Q puede observarse que la media para cada experimento es superior a la del monocrystal en las mismas condiciones de temperatura y tiempo, ya que aunque para el monocrystal es independiente del tiempo el coeficiente de difusión D , para el policristal depende de él. Para los policristales estudiados, tenemos:

$$Q = - 383'36 \cdot 10^{-23} \ln \frac{D}{1,3 \cdot 10^{-6}} \text{ joules}$$

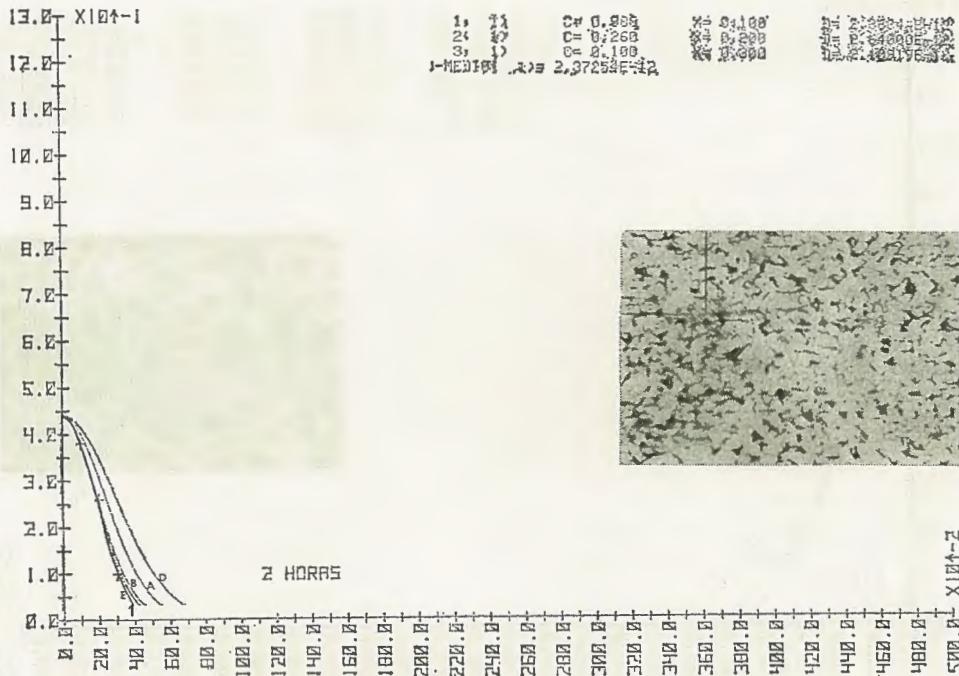
dando valores medios que varían desde:

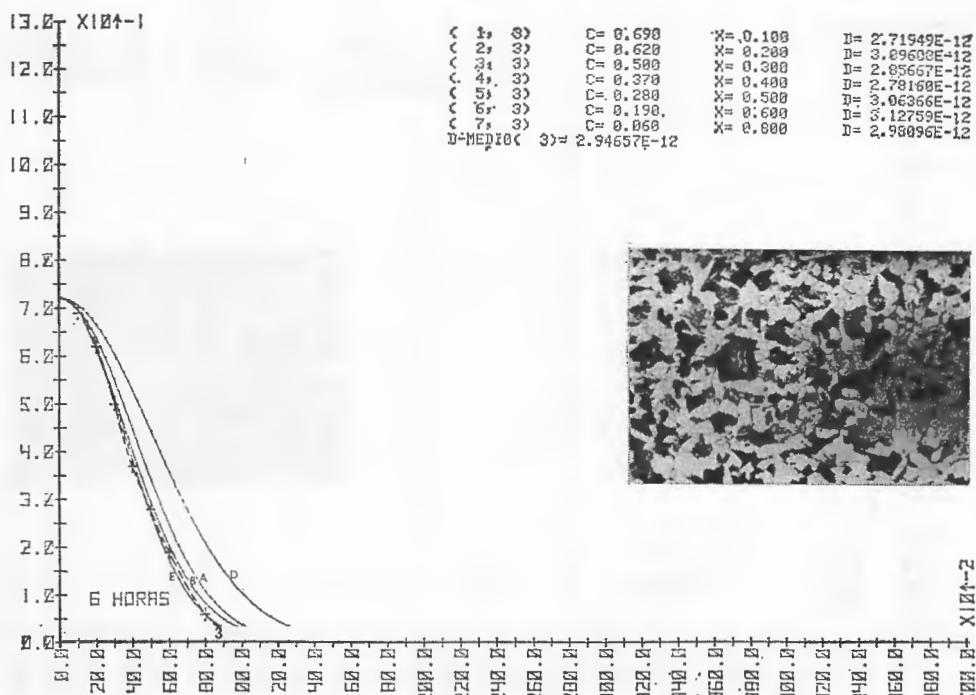
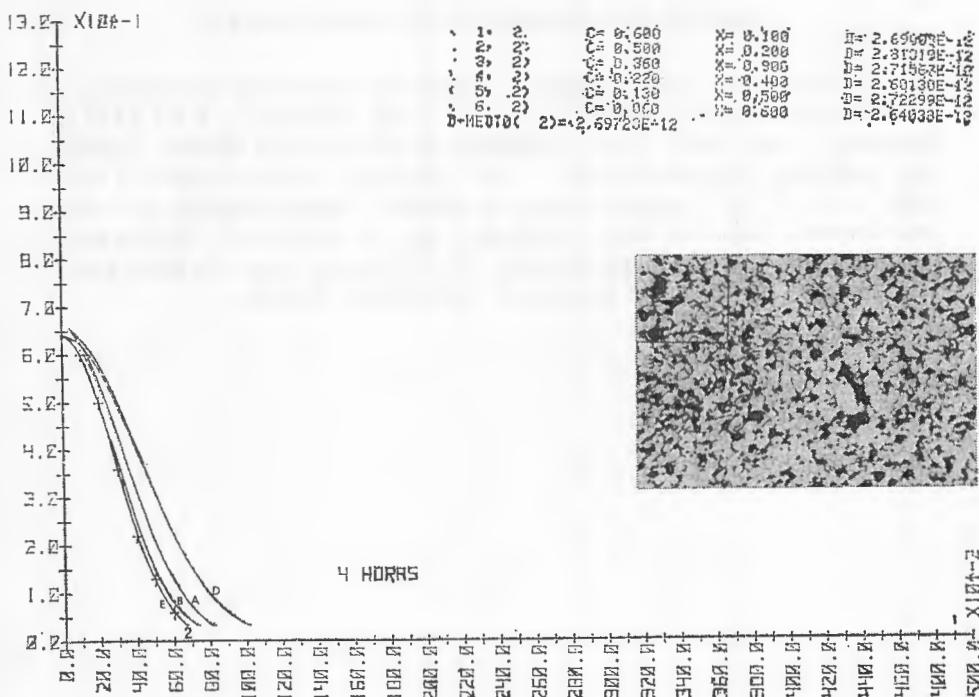
$$Q_1 = 1,32 \text{ eV hasta } Q_{15} = 1,25 \text{ eV}$$

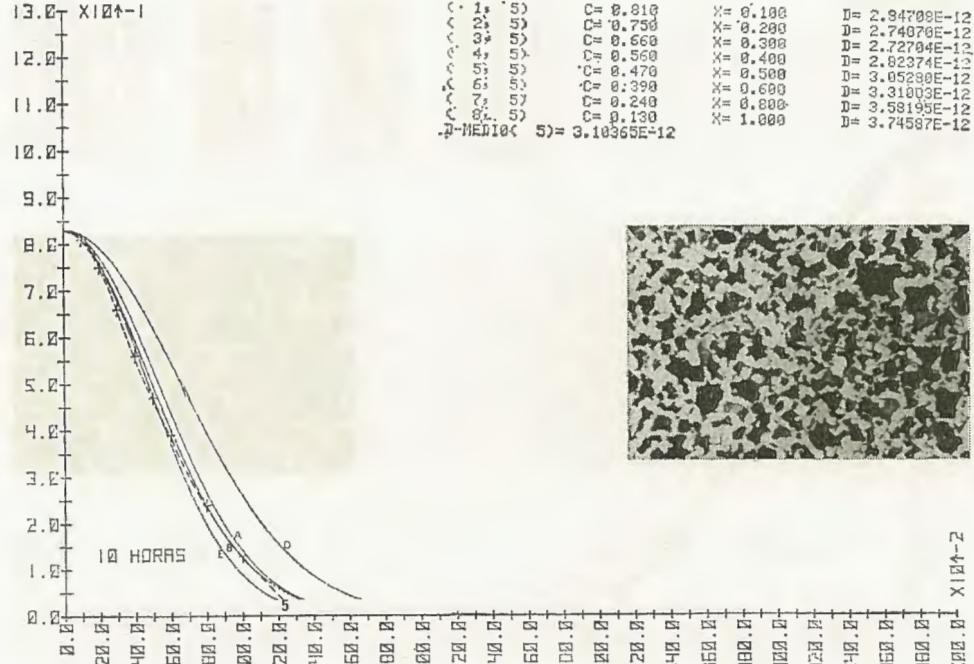
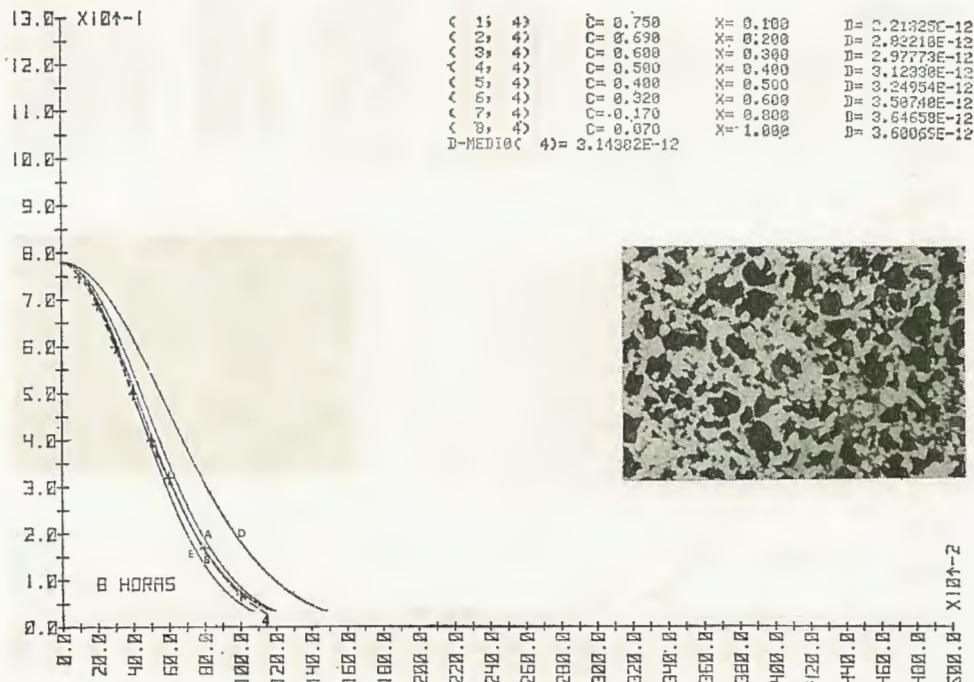
y que dependen del número de granos de la estructura, ya que para $Q_1 = 1,32 \text{ eV}$ el tamaño de grano es el n.º 7, mientras para $Q_{15} = 1,25 \text{ eV}$ el tamaño de grano es el n.º 1 (ambos para la periferia). De aquí resulta que si para el monocrystal la energía de activación era de 0,93 eV, y para un policristal de 1 grano por pulgada cuadrada a 100 aumentos es de 1,25, resulta que cuanto más tendamos a un aumento de la superficie del grano, y en consecuencia al monocrystal, (aunque en nuestro caso estemos muy lejos de él) la energía de activación será menor, pudiéndose achacar esta diferencia de 0,3 eV a los efectos de frontera intergranulares.

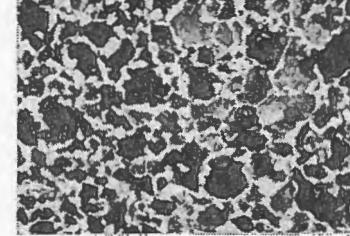
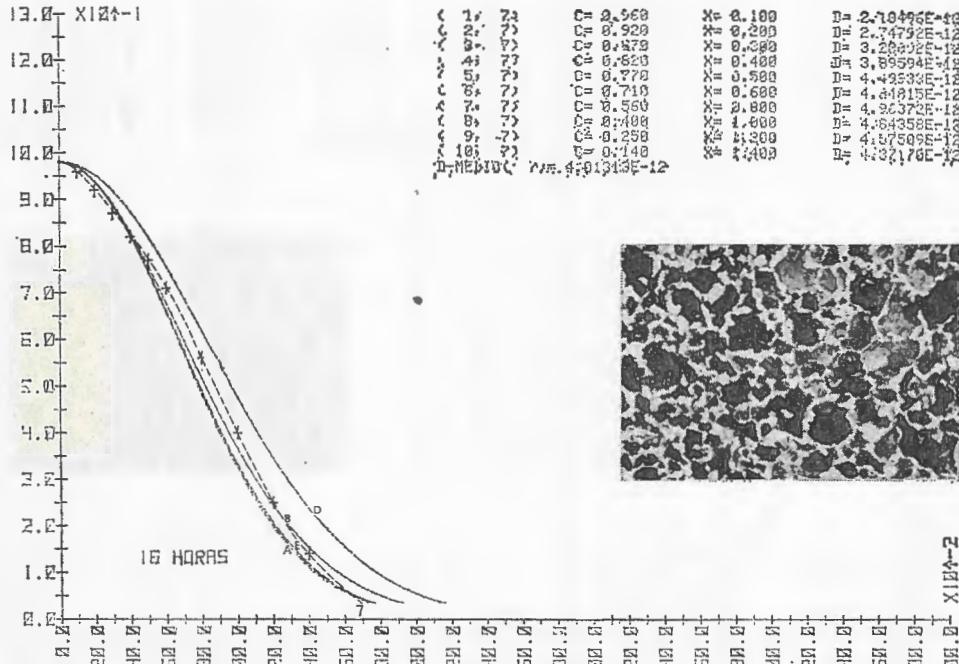
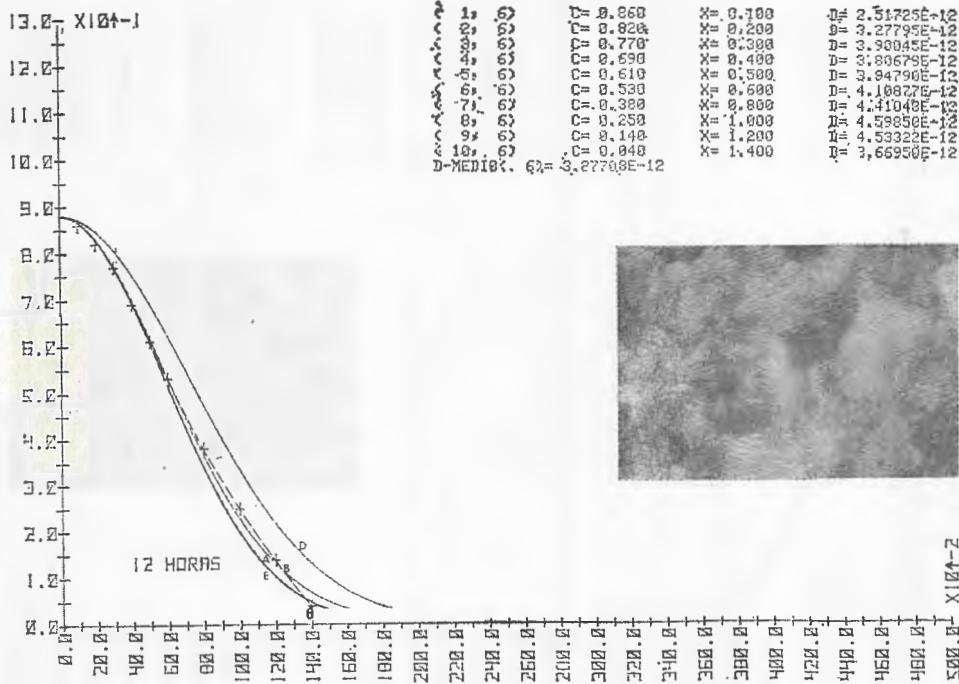
Por esta razón, el disminuir el número que marca el tamaño de grano, implica que disminuye el número de granos, y en consecuencia que aumente la superficie media de cada grano, por lo que su frontera será menor disminuyendo la difusión con el tiempo, ya que éste es la causa de pasar de un n.º 7 a un n.º 1, o lo que es lo mismo, de que aumente la superficie media de los granos desde $0,000880 \text{ mm}^2$ a $0,062 \text{ mm}^2$. Sin embargo, la realidad nos dice que el coeficiente de difusión aumenta hasta un cierto valor a partir del cual puede considerarse como estabilizado, lo cual parece un contrasentido con lo anteriormente expuesto, pero todo ello tiene una explicación, ya que en las zonas más profundas de la difusión, en donde la composición química es la inicial, el tamaño de grano varía muy poco pese a estar también a 925°C , siendo este tamaño del n.º 5 al 6, y de esta forma la frontera de los granos es mayor en el núcleo que en la periferia; así se comprende que en las probetas de 2, 4 y 6 horas de tratamiento se ajusten muy bien con un coeficiente de difusión único, ya que su grano prácticamente no se ha modificado, mientras que en las probetas para tiempos altos, al tener un tamaño de grano variable, y no haberle tenido en cuenta en la ecuación de difusión, hace que su ajuste sea prácticamente imposible.

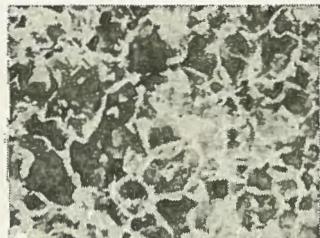
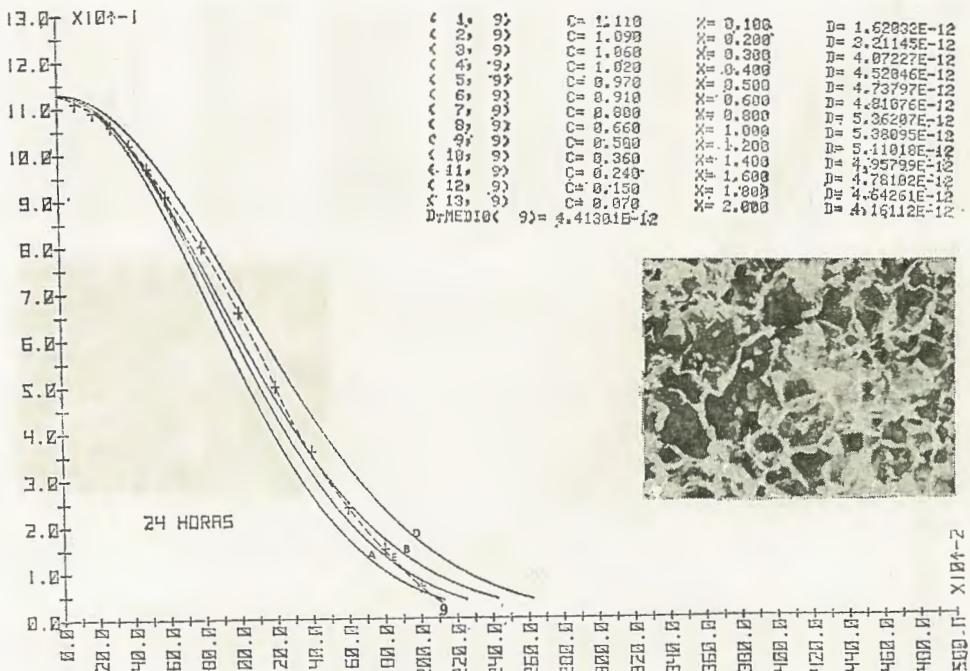
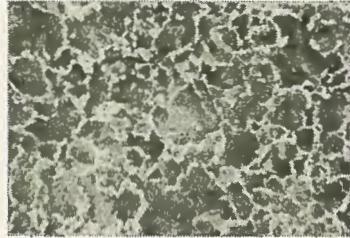
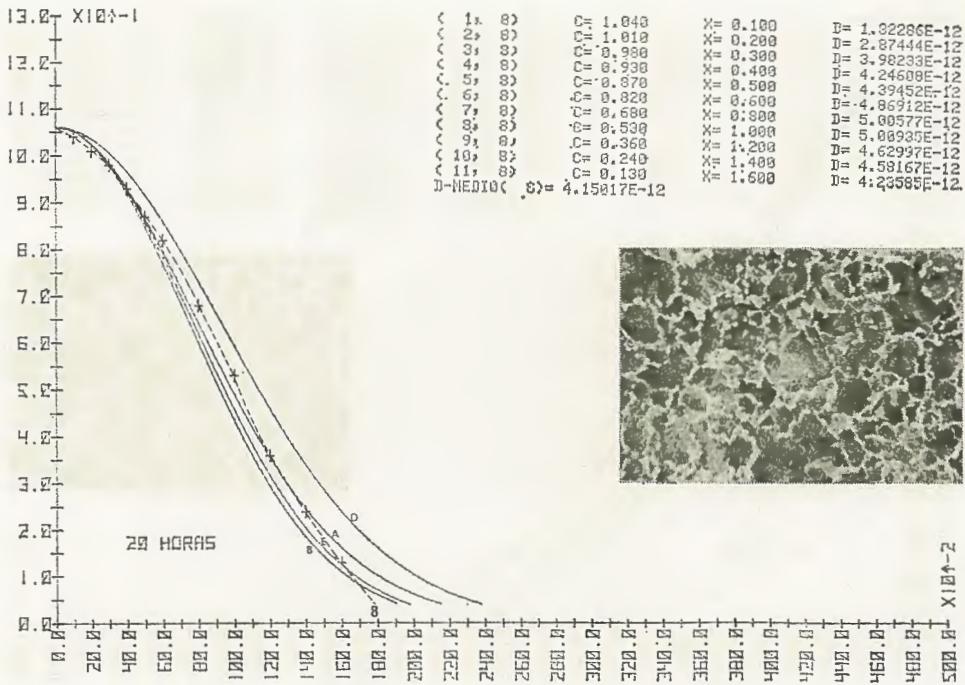
Por otra parte, en las primeras décimas de penetración del carbono, el coeficiente de difusión es menor que en la parte intermedia o final de la penetración, lo que indica que el coeficiente de difusión será distinto, variando este coeficiente alrededor del $2,5 \times 10^{-12}$ para las zonas próximas al eutectoide y $5,7 \times 10^{-12}$ para las zonas de perlita y ferrita, siempre para tiempos elevados. Todo ello viene a confirmar una vez más que la difusión intergranular y en general la profundidad de difusión, se vean afectadas por la naturaleza de las fronteras granulares (cementita ó ferrita).



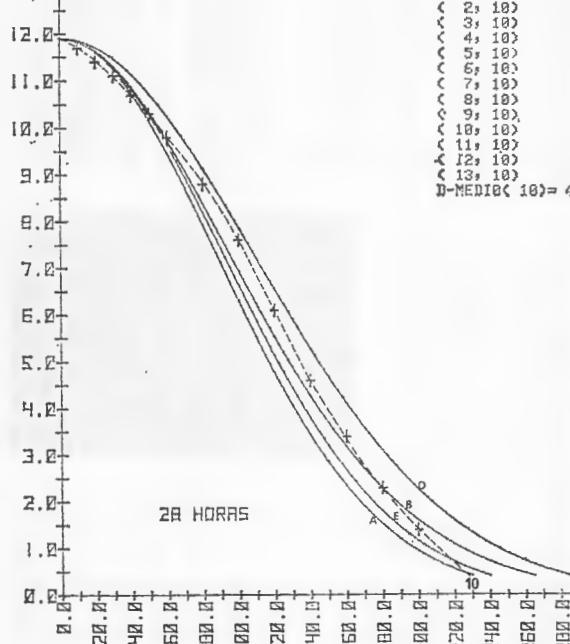




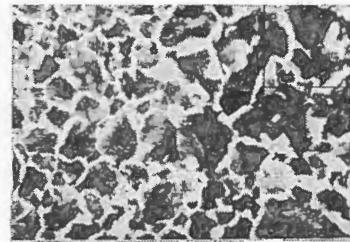




13.0 X10⁴-1

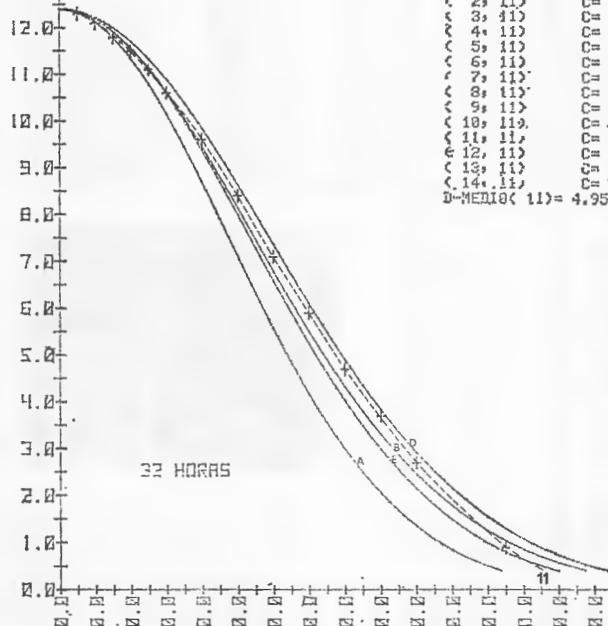


1, 10> C= 1.170 X= 0.100 D= 1.46325E-12
< 2, 10> C= 1.140 X= 0.200 D= 2.3115E-12
< 3, 10> C= 1.110 X= 0.300 D= 3.29741E-12
< 4, 10> C= 1.070 X= 0.400 D= 3.73325E-12
< 5, 10> C= 1.030 X= 0.500 D= 4.29485E-12
< 6, 10> C= 0.980 X= 0.600 D= 4.59865E-12
< 7, 10> C= 0.760 X= 0.800 D= 5.25965E-12
< 8, 10> C= 0.880 X= 1.000 D= 5.53125E-12
< 9, 10> C= 0.610 X= 1.200 D= 5.34445E-12
< 10, 10> C= 0.460 X= 1.400 D= 5.11436E-12
< 11, 10> C= 0.340 X= 1.600 D= 5.06816E-12
< 12, 10> C= 0.230 X= 1.800 D= 4.88900E-12
< 13, 10> C= 0.140 X= 2.000 D= 4.63566E-12
D-MEDIA(10)= 4.26541E-12

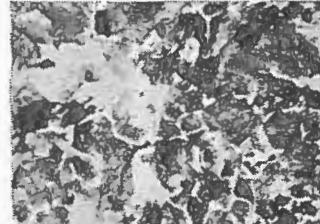


500.0 X10⁴-2

13.0 X10⁴-1

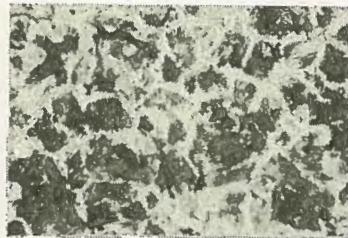
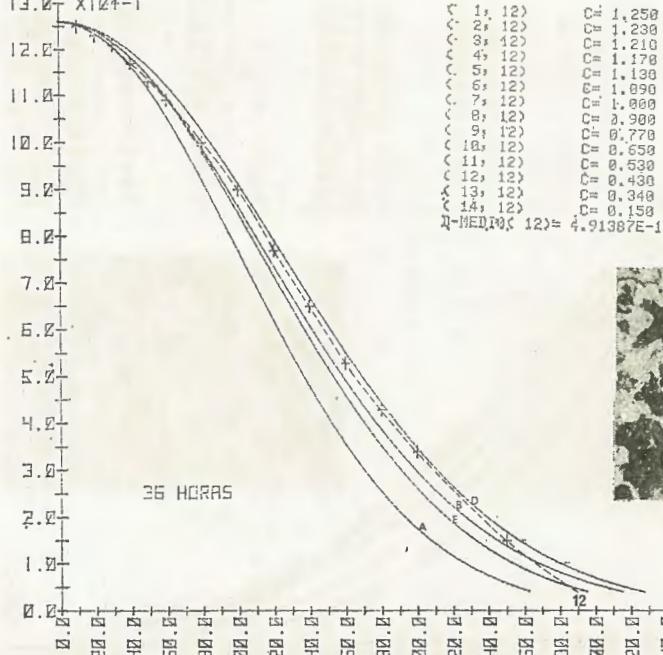


< 1, 11> C= 1.230 X= 0.100 D= 2.68016E-12
< 2, 11> C= 1.210 X= 0.200 D= 3.54436E-12
< 3, 11> C= 1.180 X= 0.300 D= 3.93790E-12
< 4, 11> C= 1.150 X= 0.400 D= 4.69815E-12
< 5, 11> C= 1.110 X= 0.500 D= 4.89867E-12
< 6, 11> C= 1.060 X= 0.600 D= 4.98111E-12
< 7, 11> C= 0.960 X= 0.800 D= 5.42675E-12
< 8, 11> C= 0.840 X= 1.000 D= 5.57212E-12
< 9, 11> C= 0.710 X= 1.200 D= 5.60435E-12
< 10, 11> C= 0.590 X= 1.400 D= 5.72669E-12
< 11, 11> C= 0.470 X= 1.600 D= 5.72656E-12
< 12, 11> C= 0.370 X= 1.800 D= 5.81490E-12
< 13, 11> C= 0.270 X= 2.000 D= 5.69424E-12
< 144, 11> C= 0.090 X= 2.500 D= 5.17088E-12
D-MEDIA(11)= 4.95613E-12



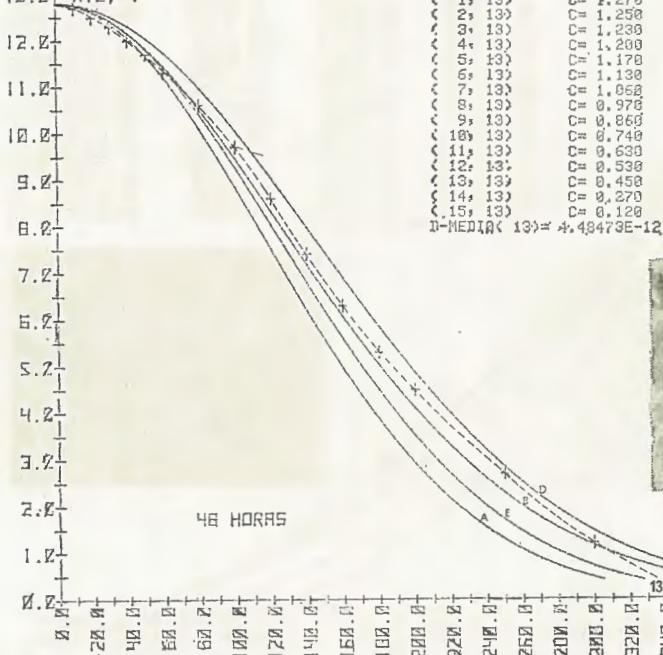
500.0 X10⁴-2

X10⁴-1

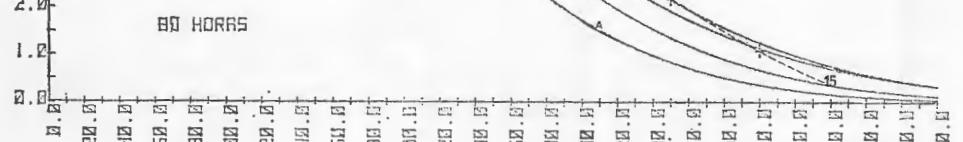
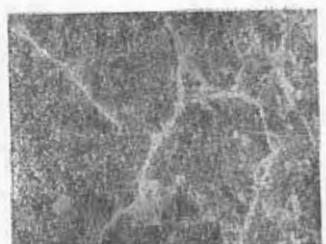
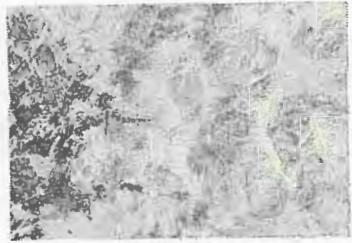
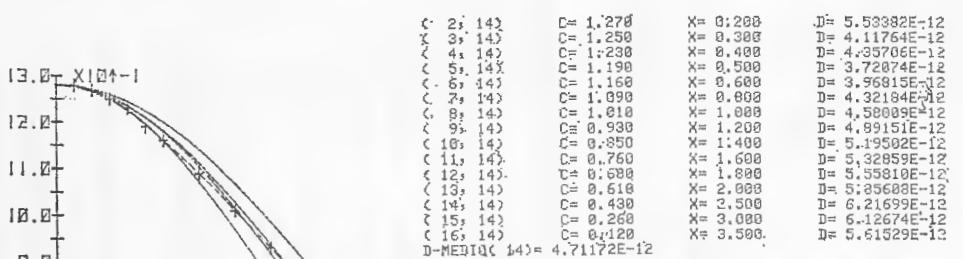


3500, B-X10⁴-2

X10⁴-1



3500, B-X10⁴-2



BIBLIOGRAFÍA

- 1) Physical Chemistry, de Walter J. Moore, Ed. Longman.
- 2) Treatise on analytical Chemistry. Parte I. Ed. Intercience.
- 3) Handbook of Engineering Mechanics. Flügge—Mc. Graw-Hill.
- 4) Física de los Sólidos, de Wert y Thomson. Ed. del Castillo.
- 5) Diffusión in Solids, de P. G. Shewmon. Ed. Mc. Graw-Hill Book Company.
- 6) Química del estado sólido, de N. B. Hannay. Ed. Alhambra.
- 7) Metals Handbook, tomos II y IX. American Soc. for Metals. Metals-Park Ohio. (U.S.A.).
- 8) Metales y Aleaciones de R. Calvo Rodés. Ed. INTA.
- 9) Introducción a la Metalurgia Física de S. H. Avner. Ed. del Castillo.
- 10) Introducción a la Física del Estado Sólido. Kittel. Ed. Reverté.
- 11) Revista de Metalurgia del CENIM, Vol. 2, n.º 4-1966 y Vol. 2-especial 1966.
- 12) Revista "Traitement Thermique", núms. 47, 48 y 49 - 1970.

ESTIMULADOR PROGRAMABLE PARA
NEUROFISIOLOGIA EN UN MICROPROCESADOR I 4004

por

S. BRACHO
M. GUTIÉRREZ

INTRODUCCIÓN

Desde que Galvani descubrió el fenómeno de modulación de la función normal del sistema nervioso mediante aplicación de energía eléctrica hacia 1770, hasta nuestros días, la estimulación mediante señales eléctricas de sistemas humanos, ha discurrido por los cauces más variados, constituyendo un área de notable interés científico y aplicaciones.

No obstante, los éxitos obtenidos por las técnicas de neuromodulación, tanto en terapéutica como en diagnóstico, fueron, durante mucho tiempo escasos, debido principalmente al escaso desarrollo de la instrumentación eléctrica y electrónica.

El desarrollo de la Electrónica ha venido a resolver el problema de acople de energía a sistemas humanos, permitiendo el avance de la neurofisiología en este sentido, de modo que actualmente se desarrollan estudios en torno al tema tan variados como la supresión del dolor por estimulación cutánea y transcutánea sobre la espina dorsal, o estimulación directa sobre nervios, bases neurológicas de algunos sistemas simples de aprendizaje, respuestas transitorias de tejidos cerebrales y comportamiento en animales, tratamiento de shock para enfermedades mentales, e incluso ha dado paso a otros tipos de estimulación como la neuromagnética, laser, servomecánica, etc.

En lo que respecta a la neuromodulación se ha comprobado que el dispositivo de estimulación debe presentar una alta impedancia de salida de modo que la corriente de estimulación sea prácticamente independiente de la impedancia que presente la región a estimular y por lo tanto de la localización de las sondas; y por otra parte debe suministrar formas de onda pulsantes con objeto de efectuar una estimulación selectiva sobre las fibras aferentes (sensitivas) minimizando la actividad de las fibras eferentes (motoras) y la producción de respuestas nocivas como resultado de la activación de fibras de clase C por iontoporesis, calor o estimulación eléctrica directa.

Las unidades de estimulación disponibles en la actualidad suministran en su mayor parte formas de onda periódicas con un ciclo simple y en al-

gunos casos con posibilidades de modulación, controlando los parámetros manualmente con los problemas que ello comporta de cálculo mental, superposiciones, etc., de modo que las firmas constructoras suelen indicar al entregar sus productos que deben usarse bajo la dirección de un físico o ingeniero especialista en instrumentación electrónica.

En algunos trabajos se propone la utilización de un ordenador para controlar la estimulación, incluso en función de la respuesta, con las tremendas posibilidades que ello comporta cuando se dispone de un programador competente, pero al mismo tiempo con un disparo de los costos, tanto de adquisición como de mantenimiento y desarrollo del sistema.

Probablemente la solución más racional consista en construir un ordenador especial con un lenguaje orientado al problema que puede ser manejado directamente por el neurofisiólogo y basado en un microprocesador para obtener un sistema de bajo costo y consumo, fácil mantenimiento, así como altas prestaciones y versatilidad.

El objeto del presente trabajo es iniciar el camino de dicha solución construyendo un sistema que permita programar secuencias de impulsos, controlando sus parámetros más significativos mediante un programa y estableciendo por consiguiente un amplio abanico de posibilidades de control de amplitudes y tiempos de las señales de excitación basados en la potencia operativa de los microprocesadores.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En la figura 1 puede verse el diagrama de bloques general del sistema construido. Este diagrama podría corresponder en general a cualquier sistema microcomputador, si se prescinde de la constitución de los buses de datos y control. La figura 2 representa el diagrama general con indicación de componentes utilizados aunque algún inversor ha sido realizado discretamente por razones de economía, y los convertidores D/A y V/I se indican esquemáticamente para simplificar el dibujo, más adelante se verá su constitución precisa y los valores de los componentes utilizados.

Puesto que nos hallamos ante un sistema microcomputador, el esquema de la figura 2 no dice aún absolutamente nada sobre la función que va a desempeñar el sistema, la cual viene determinada por el contenido de la unidad de memoria de programa. Así, pues, el número de memorias de programa y por lo tanto el tamaño del decodificador a utilizar para seleccionar la memoria en utilización, dependerá de la magnitud del programa. Por otra parte, la utilización que se vaya a hacer de la información enviada a cada puerta de salida del microcomputador propiamente dicho y dentro de cada puerta, a cada uno de los 4 bits condicionará el manejo de datos a la hora de diseñar el programa.

Como puede verse por tanto que hay una interdependencia hardware-software que debe tenerse presente a lo largo de todo el proceso de diseño.

Así pues el esquema que aparece en la figura es el resultado final de un primer esquema que ha ido sufriendo sucesivos cambios para simplificar la

programación, así como el programa también ha sido modificado, cuando ello ha sido preciso, para simplificar la circuitería.

Aún con todo la posibilidad de modificar las características del sistema, con la misma circuitería inicial, sin más que cambiar las PROM por otras que contengan un programa diferente, da una idea de la flexibilidad de este tipo de sistemas.

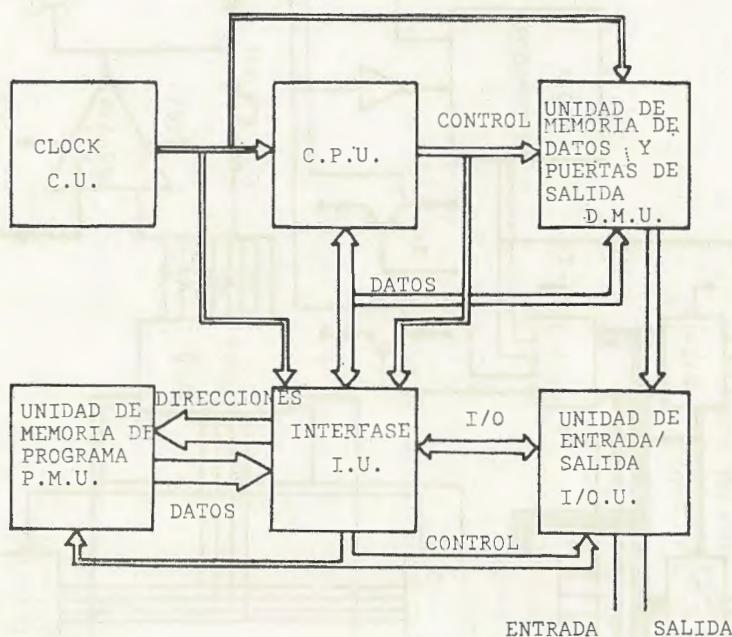


Fig. 1.—Diagrama de Bloques del sistema.

En nuestro sistema el número de memorias de programa que tenemos previsto conectar es de 2 y es por esta razón que el decodificador de la memoria en servicio se ha podido reducir a un simple inversor conectado al L. S. B. (Low significant bit) de la salida de memoria del 4008, C₀. La PROM conectada directamente a C₀ será la página 0 de programa y la conectada tras la salida del inversor será la página 1. Por lo demás la interconexión entre C. P. U. interfases y memorias es convencional.

Obsérvese que algunos componentes del sistema están conectados en paralelo. Ello es posible gracias a que sus salidas pueden estar en tres estados, los dos activos "0" ó "1" lógico, y un tercer estado de alta impedancia que permite tener en estas líneas la información suministrada por otro elemento que esté en alguno de los estados activos, sin que los elementos que se hallan en estado de alta impedancia interfieran con él. La entrada o salida en el tercer estado es controlada por la C. P. U.

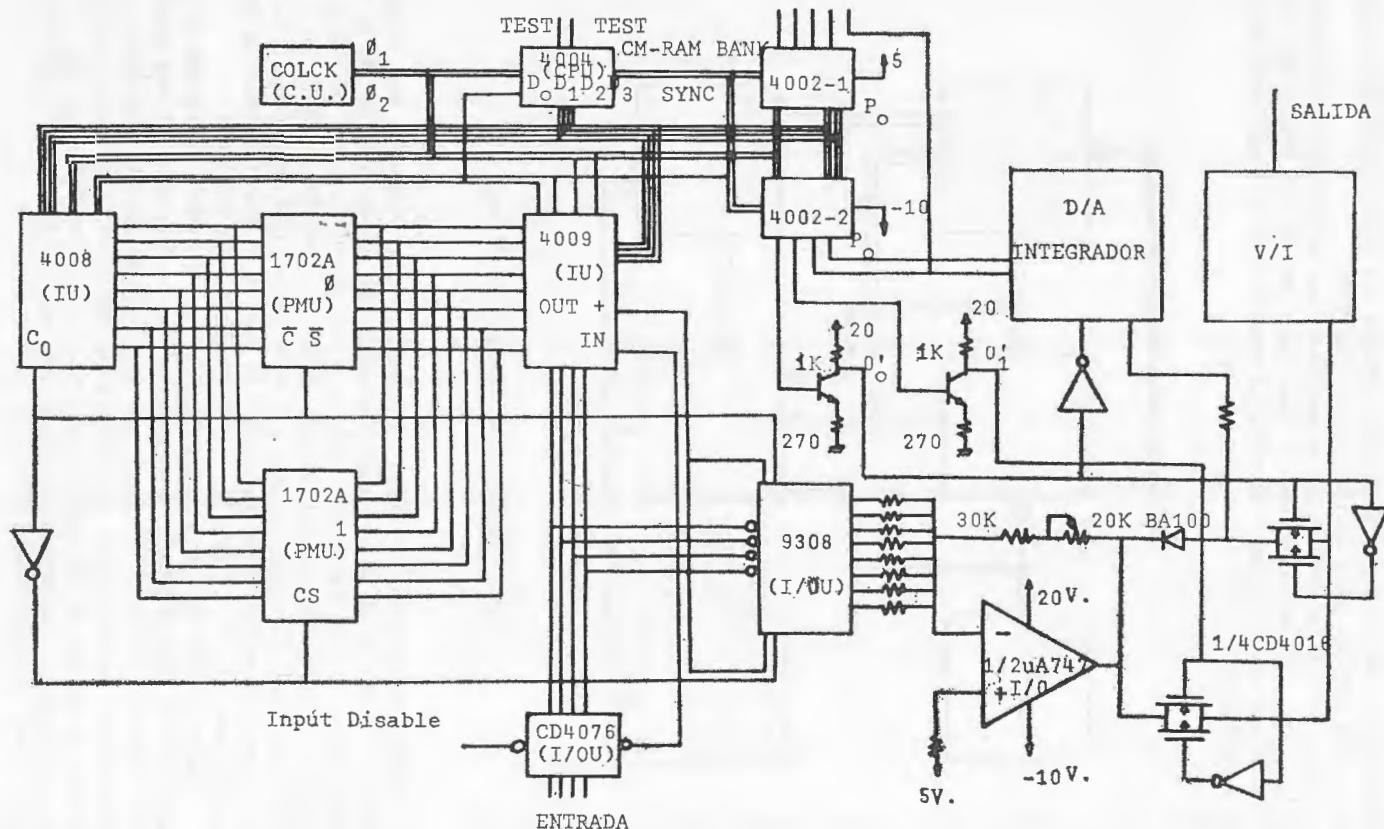


Fig. 2.— Diagrama general.

DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN DE LA UNIDAD DE ENTRADA

Para la entrada de datos hemos utilizado un registro de 4 bits CD 4076 construido en tecnología CMOS con 4 biestables D y salida de tres estados que almacenan los datos procedentes de un teclado. Cuando se pulsa una de las teclas correspondientes a un número decimal, el conjunto del teclado, que contiene un codificador envía al registro de entrada, a través de un bus de 4 bits, el equivalente binario de dicho número y lo retiene hasta que le es enviado un nuevo dato, gracias a una señal STROBE que envía simultáneamente con el dato, los cuales están presentes tanto tiempo como se tenga pulsada la tecla.

Podríamos haber utilizado directamente esta señal para activar la entrada de datos al registro pero para evitar posibles problemas de ruidos, lecturas incorrectas, etc... decidimos incluir uno de los monostables de un circuito integrado 9602 disparado por el STROBE en el flanco de subida para activar la entrada de datos al registro (fig. 3).

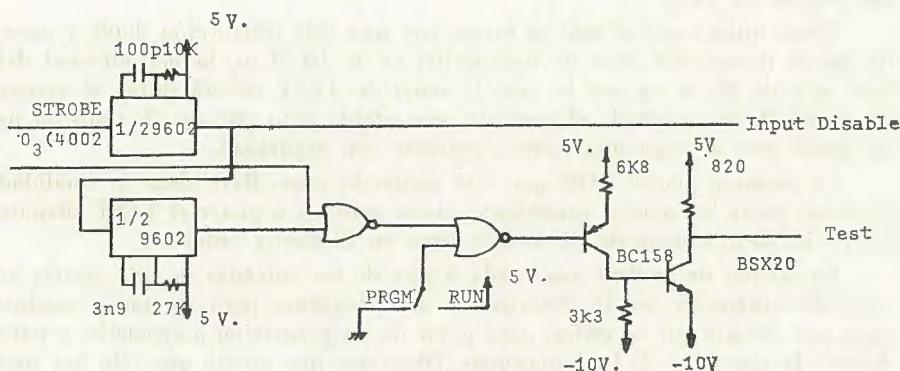


Fig. 3.—Control de entrada de datos.

El tiempo que la entrada del registro está activada (Input disable en estado bajo) lo hemos ajustado a unos 350 nS de modo que el registro tenga tiempo suficiente para transmitir con seguridad la información a la salida.

Puesto que en este sistema la ejecución del programa no puede detenerse, hemos utilizado la instrucción de salto condicional para que una vez que el programa llegue al instante de captar un dato la señal de TEST permanezca a "0" lógico (lógica negativa) y el programa entre en un lazo del que no saldrá hasta que la señal de TEST pase a "1", lo cual ocurre tras el flanco de bajada del "Input Disable" que ha controlado la lectura del dato, combinado con el cambio de estado del bit 0_3 de la puerta de salida que contiene

la RAM 1 inmediatamente antes de entrar en el lazo de modo que indique que el sistema esté listo para captar un dato inhibiendo por otra parte el envío de señales de TEST a la C. P. U. mientras no esté lista para recibir un dato.

Una vez que la C. P. U. envía, a través del 0_3 de la RAM, la señal de estar lista para recibir un dato, el primer dato procedente del teclado es almacenado en el registro de entrada durante los 350 ns. que el primer monostable del 9602 mantiene activa la entrada de dicho registro. Pasado este tiempo es decir, en el segundo flanco de la salida del primer monostable, según se indica en la figura 3 es disparado el segundo monostable del 9602 el cual transmite esta señal a través de dos puertas NOR (que actúan como llaves controladas por la C. P. U. y por una llave exterior) a un cambiador de niveles que convierte los niveles de 0 y 5 voltios en estos circuitos TTL a niveles de -10 y 5 voltios aptos para ser interpretados por la C. P. U. P-MOS. Cuando la C. P. U. recibe a través de la entrada TEST esta señal, el programa sale del lazo en que se hallaba, pasando a la siguiente instrucción que es de lectura de la puerta de entrada, y en las siguientes inhibe mediante el bit 0_3 de la RAM 1 y la primera puerta NOR la transmisión de posibles nuevas señales de TEST.

Como quiera que el lazo se forma con una sola instrucción doble y puesto que el tiempo del ciclo de instrucción es de 10.8 us, la periodicidad del lazo será de 21.6 us con lo cual la señal de TEST deberá durar al menos 21.6 us. Hemos ajustado el segundo monostable para que sea de unos 35 us de modo que se haga una lectura correcta con seguridad.

La segunda puerta NOR que está actuando como llave tiene la finalidad de dejar pasar las señales procedentes de la anterior o poner el TEST siempre a "1" independientemente de lo que haya en la puerta anterior.

La misión de la llave conectada a una de las entradas de esta puerta se verá detenidamente en la descripción del programa pero de todos modos, vaya por delante que se utiliza para pasar de programación a ejecución y para detener la ejecución de los programas. Obsérvese que puesto que sólo hay una puerta de entrada no ha sido preciso utilizar a los bits de selección del 4008 (C_0, C_1, C_2, C_3) ni por lo tanto ningún tipo de decodificador, lo cual a su vez, nos evita a la hora de diseñar el programa, el direccionamiento de puerta de entrada.

DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN DE LA UNIDAD DE SALIDA

Para implementar la unidad de salida disponemos por una parte de las dos puertas de salida contenidas en las RAM de datos y del bus de entrada-salida del 4009.

En la puerta de salida de la RAM \emptyset y en el bit 0_3 de la puerta de la RAM 1 presentaremos como se verá en la descripción del programa información relativa a los datos que el microcomputador vaya describiendo. Asimis-

mo el bit 0_8 serán respectivamente el reloj y los datos que almacenará un Shift Register destinado a controlar la pendiente de la forma de onda a través de un convertidor digital-analógico de 8 bits y de un integrador construido con uno de los amplificadores operacionales que contiene el μ a 747.

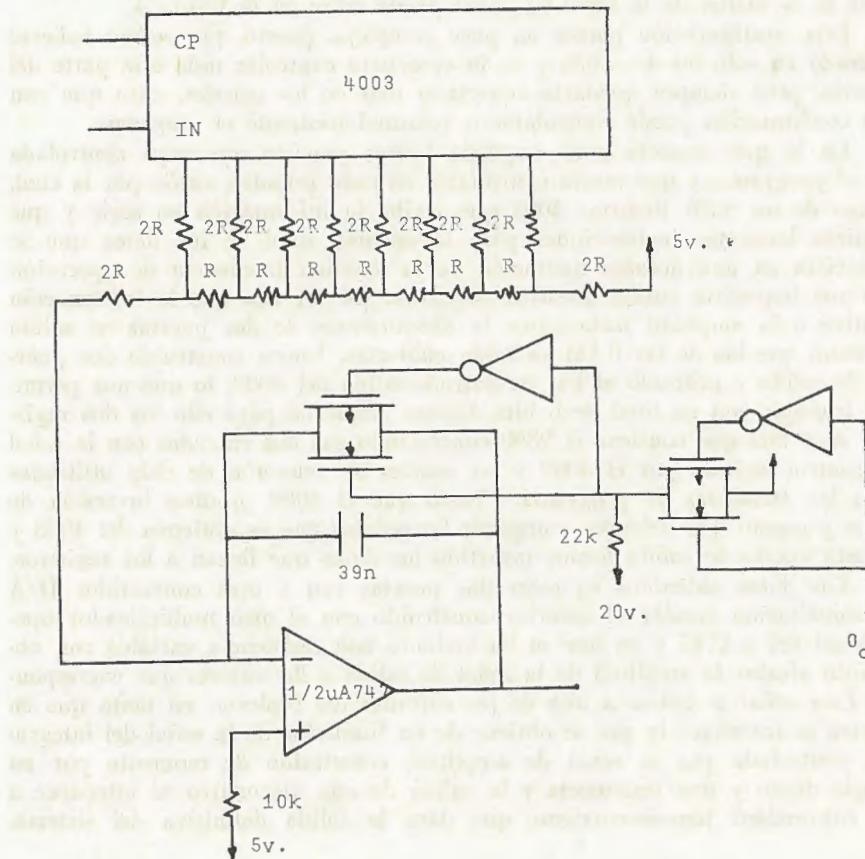


Fig. 4.—Convertidor D/A e interruptor.

En la figura 4 puede verse el diagrama completo del integrador y del convertidor. La puesta a cero del integrador se efectúa mediante una de las 4 llaves CMOS que contiene el circuito CD016BE y bajo control de la señal

que se obtiene en el bit 0_0 de la RAM 1, debidamente alimentado entre 5 y 20 volt. y los operacionales entre -10 y 20 voltios mientras que la RAM 4002 lo será entre -10 y 5 voltios.

Puesto que las señales que salen por los bits 0_0 , 0_1 se van a utilizar para conmutar un bplexer por 2 de las 4 llaves CMOS que contiene el CD4016 con objeto de presentar en la salida, bien la señal procedente del integrador o bien la del otro convertidor D/A, la señal de puesta a cero del integrador deberá ser invertida respecto a la que dé paso a la salida del integrador. Como quiera que aún queda una llave del CD4016, la hemos utilizado para producir la inversión de la señal $0'_0$ como puede verse en la figura 4.

Esta configuración parece un poco compleja, puesto que podría haberse utilizado un sólo bit de salida y su inverso para controlar toda esta parte del sistema, pero siempre quedaría conectado uno de los canales, cosa que con esta confirmación puede controlarse a voluntad mediante el programa.

En lo que respecta a la amplitud hemos previsto que vaya controlada por el programa, y que pueda controlarse en cada impulso, razón por la cual, el uso de un Shift Register 4003 que recibe la información en serie y que requiere bastantes instrucciones para la emisión total de los datos que se traduciría en una notable limitación de la máxima frecuencia de operación que nos impediría cubrir nuestros objetivos. Es por ello que la información relativa a la amplitud instantánea la obtendremos de dos puertas de salida y puesto que las de las RAM ya están cubiertas, hemos construido dos puertas de salida y utilizado el bus de entrada-salida del 4009, lo que nos permitirá trabajar con un total de 8 bits. Hemos empleado para ello los dos registros de 4 bits que contiene el 9308 controlando sus dos entradas con la señal de control emitida por el 4009 y las señales de selección de chip utilizadas para las memorias de programa. Puesto que el 4009 produce inversión de datos y puesto que debemos comparar las señales que se obtienen del 4003 y de esta puerta de salida hemos invertido los datos que llegan a los registros.

Los datos obtenidos en estas dos puertas van a otro convertidor D/A de constitución similar al anterior construido con el otro multiplicador operacional del μ A747 y en que se ha incluido una resistencia variable con objeto de ajustar la amplitud de la señal de salida a los valores que corresponda. Esta señal se aplica a una de las entradas del bplexer, en tanto que en la otra se introduce la que se obtiene de un limitador de la señal del integrador controlado por la señal de amplitud, constituido de momento por un simple diodo y una resistencia y la salida de este dispositivo se introduce a un convertidor tensión-corriente que dará la salida definitiva del sistema.

DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN DEL CONVERTIDOR V/I

En la figura 6 puede verse el diagrama del convertidor V/I empleado como salida del sistema. Su concepción se basa en el esquema clásico de fuente de intensidad controlada por tensión (fig. 5) en que mediante una resistencia R colocada en serie con el terminal de salida se toma una muestra de tensión proporcional a la intensidad y se realimenta a la entrada.

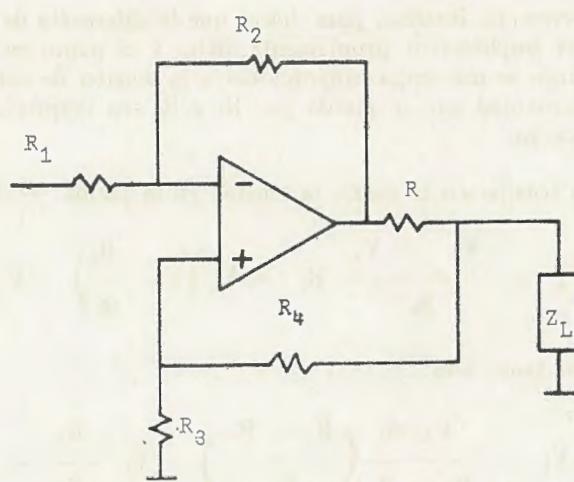


Fig. 5.—Convertidor V/I clásico.

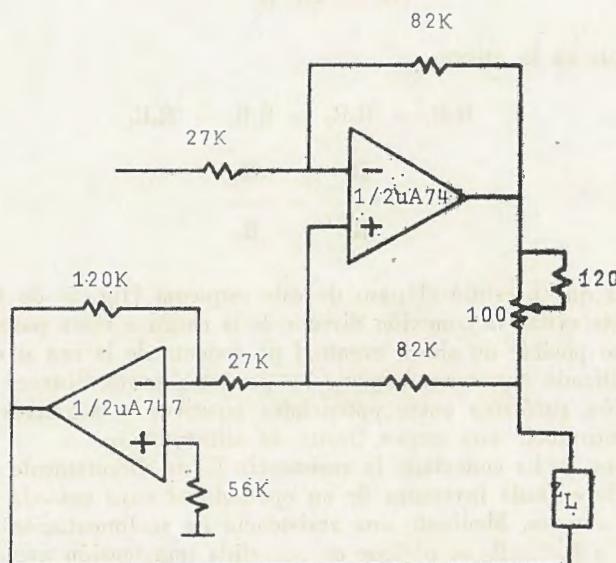


Fig. 6.—Convertidor V/I del sistema.

Con esta conexión, interesa, pues, hacer que la diferencia de potencial entre la salida del amplificador propiamente dicho y el punto en que se halla conectada la carga se mantenga proporcional a la tensión de entrada siempre y cuando la intensidad que se pierda por R_3 y R_4 sea despreciable a la que circula por la carga.

Sea V_L la tensión en la carga, la tensión en la patilla + será:

$$V_0 = V_+ + \frac{V_+ - V_i}{R_1} R_2 = V_+ \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - V_i \frac{R_2}{R_1}$$

la diferencia por tanto será:

$$V_0 - V_L = \frac{V_L R_3}{R_3 + R_4} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) - V_i \frac{R_2}{R_1} - V_L$$

Si se ha de comportar como una fuente de intensidad la tensión V_L dependerá de la carga, luego la diferencia de potencial en R deberá ser independiente de V_L lo cual nos conduce a que:

$$\frac{R_3 (R_1 + R_2)}{(R_3 + R_4) R_1} = 1$$

O lo que es lo mismo:

$$R_3 R_1 + R_3 R_2 = R_3 R_1 + R_4 R_1$$

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}$$

La idea que presidió el paso de este esquema (fig. 5) de la fig. 6, fue por una parte evitar la conexión directa de la carga a masa para evitar en la medida de lo posible un shock eventual procedente de la red si el dispositivo va a ser utilizado con seres humanos y por otra parte, obtener en la salida una excusión simétrica entre potenciales positivos y negativos para evitar tener que introducir una nueva fuente de alimentación.

Así, pues, se ha conectado la resistencia R_3 no directamente a masa, sino a través de la entrada inversora de un operacional cuya entrada no inversora está puesta a masa. Mediante una resistencia de realimentación aproximadamente igual a $R_3 + R_4$ se obtiene en su salida una tensión aproximadamente inversa a la que aparece en el terminal de salida de intensidad.

DESCRIPCIÓN DEL RELOJ Y DEL CIRCUITO DE PUESTA A CERO

En la figura 7 puede verse el esquema del circuito que genera las dos fases del reloj necesarias para el funcionamiento del microcomputador.

El circuito consta de un oscilador estabilizado por cuarzo a una frecuencia de 5.185 MHz., un contador actuando como divisor de frecuencia, unas puertas que a partir de las señales obtenidas en el contador obtendrán la forma definitiva de las dos fases y un driver cambiador de niveles.

Del oscilador se obtiene una señal cuyo periodo es de 192.8 ns. Necesitamos dos fases de un ancho comprendido entre 380 y 480 ns, un tiempo de retraso de \emptyset_2 a \emptyset_1 comprendido entre 400 y 500 ns. y un tiempo de retraso de \emptyset_1 a \emptyset_2 superior a 150 ns., según indica el diagrama temporal suministrado por Intel. Con 2 períodos obtenemos un tiempo total de 385,6 ns., lo cual es idóneo para obtener la anchura de pulso que precisaron, mientras un período completo lo utilizamos para obtener el retraso de \emptyset_2 a \emptyset_1 , pero sin embargo ha podido observarse que con esta constitución el sistema funciona correctamente.

Necesitamos por lo tanto 2 ciclos para $\phi_1, 2$ para el retraso de ϕ_2 respecto a ϕ_1 , 2 más para ϕ_2 y otro para el retraso de una nueva ϕ_1 respecto a la última ϕ_2 (ver figuras). Es decir, un total de 7 cuentas y a partir de ese momento repetirse periódicamente, por lo tanto el contador deberá ponerse a cero cada 7 cuentas.

Utilizaremos un contador rápido 74161 (F9316) con carry implementado mediante una red combinacional (look-a-head) para cada biestable, que dispone además de la posibilidad de situarlo en el estado iniciado por 4 bits de entrada en paralelo cuando se activa la entrada de carga.

Así mediante una puerta NAND activamos la entrada de carga en paralelo cuando el contador llegue a 6 (0110) de modo que al llegar al séptimo ciclo de reloj el contador se pone en el estado indicado por las puertas en paralelo, que en nuestro caso ponemos a "0" lógico (Lógica positiva).

Con esta conexión (figura 7) las formas de onda obtenidas del contador, pueden verse en la figura 15 donde la traza superior en la que se obtiene del oscilador y las tres inferiores corresponden a los tres bits menos significativos del contador.

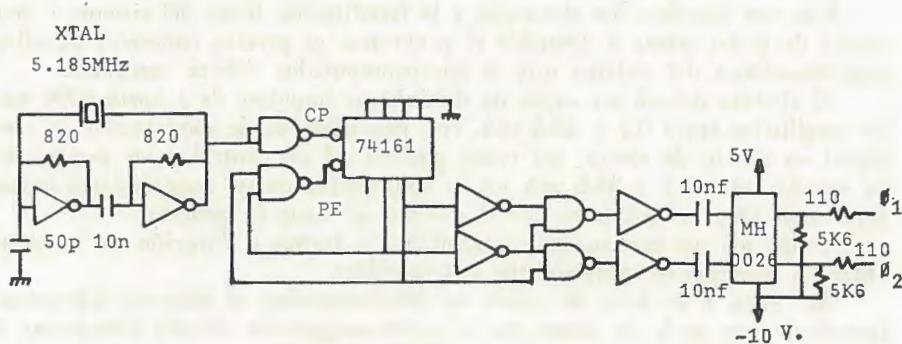


Fig. 7.—Clock.

El circuito de puesta a cero (figura 8) debe suministrar una señal de niveles apropiados al microprocesador (4004) y de una duración suficiente para borrar todos los registros y biestables, tanto de la C. P. U. (4004) como de las memorias e interfases, para lo cual es preciso que esté en estado activo "1" lógico (lógica negativa) durante al menos 8 ciclos de instrucción, es decir 64 ciclos de reloj, lo que supone unos 86,4 us.

Utilizaremos como elemento de mando el pulsador del teclado que tiene la indicación CLEAR. Aún cuando hemos podido observar que por muy rápidamente que se trate de activar el citado pulsador la duración de las señales que se obtienen es siempre superior a 1 ms. hemos decidido utilizar un monostable FCK 111 por razones de seguridad y velocidad. El tiempo de permanencia en estado activo lo hemos ajustado de modo que sea muy superior al valor mínimo exigible, con lo cual se evita la posibilidad de un borrado parcial de los elementos del sistema de modo que una pulsación accidental de la tecla de borrado total, y en caso contrario ninguna modificación de la operación normal del sistema.

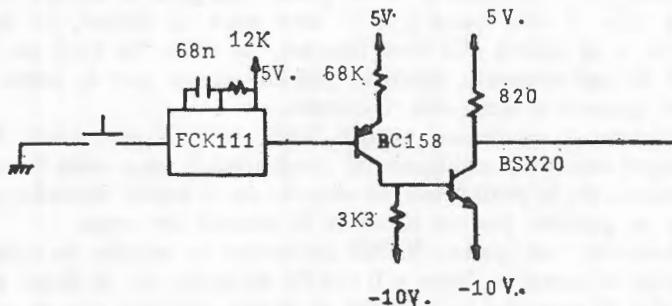


Fig. 8.—Clear.

OBJETIVOS CONCRETOS DEL SISTEMA

Una vez descritos los elementos y la constitución física del sistema y con objeto de poder pasar a describir el programa, es preciso concretar aquellas especificaciones del sistema que el microcomputador deberá controlar.

El sistema deberá ser capaz de suministrar impulsos de 1 hasta 4096 ms. de amplitudes entre 0.1 y 25.5 mA. con posibilidades de modulación de amplitud en diente de sierra, así como posibilidad de controlar las pendientes de subida entre 0.1 y 25.6 mA/ms. o suministrar ondas rectangulares cuyas pendientes sean las máximas que el sistema es capaz de generar.

Todos los parámetros que determinan la forma y duración de la señal obtenida deberán ser previamente programables.

Así pues, a la hora de poner en funcionamiento el sistema, deberemos introducir una serie de datos que el microcomputador deberá interpretar y ejecutar de acuerdo con lo que se le indique en el programa.

A la hora de elegir la configuración de entrada de datos se pensó la posibilidad de utilizar un sistema del tipo que se utiliza en los lenguajes de alto nivel, lo que conferiría al sistema una mayor espectacularidad a expensas de utilizar una mayor cantidad de memorias de programa. Por tanto y en orden a su economía decidimos utilizar un formato fijo, lo cual priva al sistema de una cierta flexibilidad a la hora de introducir datos, al tiempo que permite simplificar la programación.

La estructura de entrada de datos queda pues como sigue:

Habida cuenta de la estructura de direccionamiento que incorpora el sistema MCS-4 parece oportuno introducir todos los datos relativos a una secuencia de salida en uno de los 4 registros de 16 caracteres de la memoria de datos RAM, de modo que al utilizar 2 RAM 4002 nos será posible programar hasta un total de 8 secuencias diferentes, lo cual deberá tenerse en cuenta a la hora de diseñar el programa.

Dentro de los datos que corresponden a una secuencia de la salida hemos adoptado la siguiente organización: los tres primeros caracteres para almacenar el dato correspondiente al ancho del pulso, los 3 siguientes para la separación entre pulsos y los 3 siguientes para el número total de períodos que se desea obtener en esa secuencia, esto es en lo que respecta al dominio del tiempo.

En lo que respecta al control de amplitud utilizaremos los dos caracteres que siguen para guardar la altura del escalón de modo que si no se desea obtener una modulación de amplitud, bastará dar el mismo valor a este parámetro que al siguiente, se refiere a la máxima amplitud que se deseé alcanzar y que también guardaremos en 2 caracteres, finalmente 2 caracteres más para el valor de la pendiente.

Como quiera que los datos se obtienen del teclado en BCD, para obtener el máximo aprovechamiento de la memoria será conveniente convertirlos a binario natural con lo cual, tendremos que utilizar en la entrada un dígito más que caracteres.

Por consiguiente utilizaremos 15 de los 16 caracteres principales del registro que corresponda a la secuencia en curso mientras que a la entrada será preciso introducir un total de 21 dígitos por secuencia.

Parámetro	Caracteres memoria	Dígitos entrada	Valor máximo	Unidades
1. W_H (ancho de banda)	3 (\emptyset - 2)	4	4095	ms
2. W_L (ancho bajo)	3 (3 - 5)	4	4095	ms
3. Duración (D)	3 (6 - 8)	4	4095	ciclos
4. Altura escalón (M)	2 (9 - 11)	3	255	mA x 10
5. Amplitud máxima (A)	2 (11 - 12)	3	255	mA x 10
6. Pendiente (S)	2 (13 - 14)	3	255	mA x 10/mS

Por otra parte hay que observar que puesto que todos los datos entran secuencialmente por una sola puerta de entrada, no será preciso ni efectuar el decodificado del número de puerta a partir de las salidas C_0 , C_1 , C_2 , C_3 del

4008, ni por tanto utilizar la instrucción SRC para direccionarla. Además, puesto que sólo utilizamos un banco de memoria de datos, utilizando el \emptyset , como éste queda seleccionado al efectuar el borrado tampoco será preciso utilizar la instrucción DCL.

CONCEPCIÓN DEL PROGRAMA

Antes de pasar a describir el programa del microcomputador paso por paso, vamos a tratar brevemente de dar una idea general de su organización.

En lo que respecta a la entrada de datos se ha previsto su realización mediante una subrutina en la que el sistema adquiere todos los dígitos relativos a uno de los parámetros y los convierte a binario natural, de modo que si el parámetro es de 3 dígitos o de 4 lo único que varía es el punto de entrada en dicha subrutina. En ella se prevee al hacer la conversación la posibilidad de que el valor introducido rebase la capacidad de la región de memoria asignada a dicho parámetro en cuyo caso será este valor máximo el almacenado en la memoria de datos.

El envío a dicha subrutina desde la rama principal del programa se efectúa desde el interior de un lazo que corresponde a los tres primeros parámetros de 4 dígitos y posteriormente desde otro lazo que corresponde a los 3 siguientes parámetros que son de tres dígitos. Estos están a su vez dentro de otro lazo que determina el número de secuencia que se está introduciendo y por tanto el registro de la memoria de datos, en que se almacenan los que corresponden a la secuencia en curso.

Una vez introducidos los datos de cada secuencia se ha previsto un tiempo de espera o retraso de unos 3 seg., en el cual, mediante el conmutador PRGM-RUN se podrá si se desea salir del lazo de lectura y pasar a ejecución. Si se mantiene al conmutador en la posición PRGM, o lo que es lo mismo, la señal de TEST a 0 lógico (lógica negativa) y si la memoria de datos no está completa, retrocederá para leer los datos de la secuencia siguiente. Si la memoria de datos estuviese completa se detendrá hasta que el conmutador de control se pase a la posición RUN, es decir la señal de TEST a 1.

Una vez que hemos entrado en la parte de ejecución caben distinguir otras dos partes, una primera en la que se efectúan cálculos y correcciones sobre los datos de la secuencia en curso y una segunda de ejecución propiamente dicha.

La ejecución se lleva a cabo secuencialmente, en el mismo orden de entrada mediante la memoria de datos y el registro del que se han de leer los datos a registrar.

Una vez dentro del lazo de ejecución, si la altura del escalón es cero, sale del lazo para ejecutar un retraso con la salida inactivada cuya magnitud será la expresada por el parámetro DURACION en centésimas de segundo, de este modo se podrán obtener retrasos de hasta 40 segundos, a continuación vuelve al lazo principal para seguir con la siguiente secuencia.

Si la altura del escalón no es cero pasa a comprobar si la pendiente lo es, en cuyo caso cambia dicho valor por 1 pues más adelante está previsto si la pendiente no es suficiente para alcanzar la amplitud máxima, efectuar una

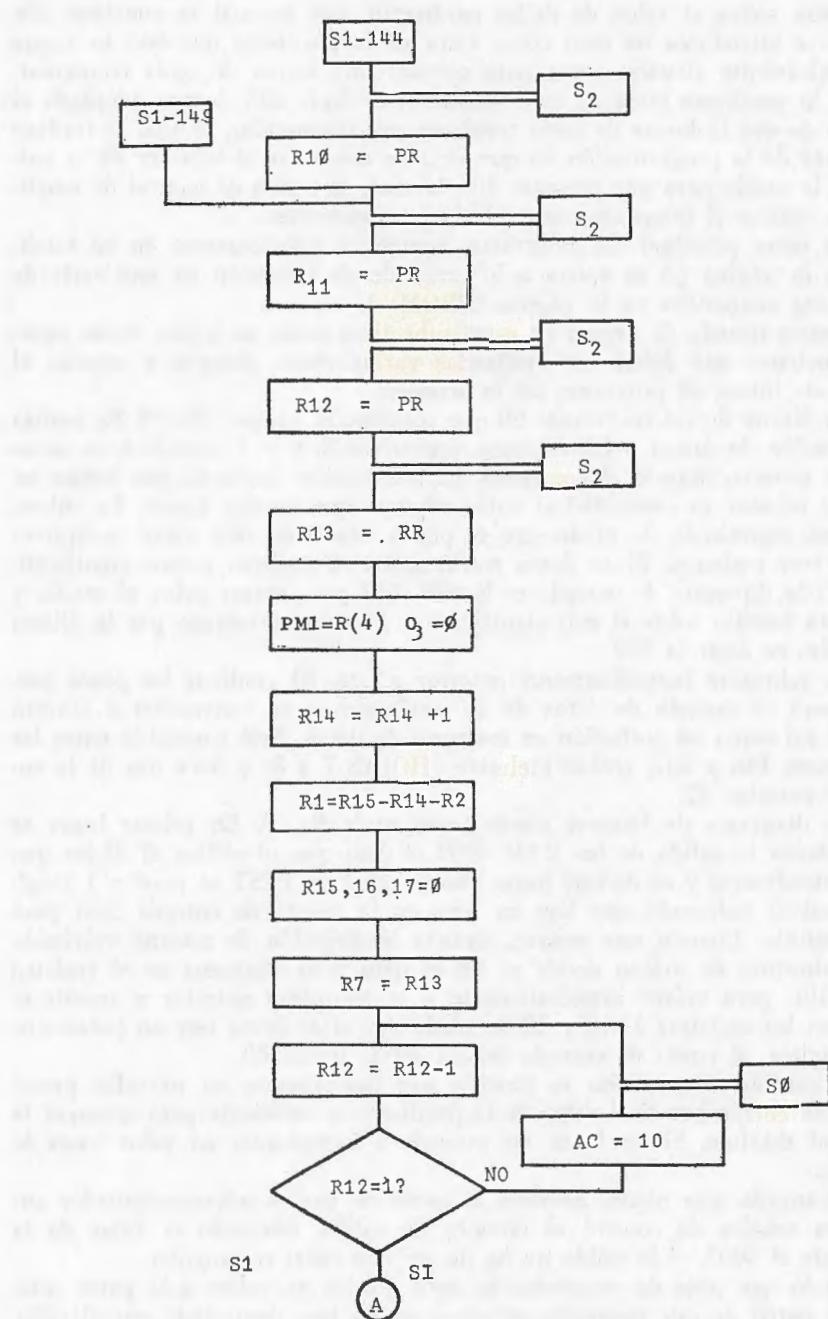


Fig. 9-a

corrección sobre el valor de dicho parámetro, con lo cual se consigue aún cuando se introduzca un cero como valor de la pendiente que ésta se ajusta automáticamente al valor justo para obtener una forma de onda triangular.

Si la pendiente toma su valor máximo, es decir 255, hemos adoptado el criterio de que la forma de onda resultante sea rectangular, lo cual se traduce a la hora de la programación en que se debe comutar el biplexer de la unidad de la salida para que presente directamente la salida de control de amplitud sin utilizar el integrador que genera las pendientes.

La rama principal del programa, contenida prácticamente en su totalidad en la página 0 se apoya a lo largo de su ejecución en una serie de subrutinas contenidas en la página (PROM) 1.

Hemos tratado de incluir en estas subrutinas como es lógico, todas aquellas funciones que deban ser realizadas varias veces, siempre y cuando el ahorro de líneas de programa así lo aconseje.

La última de las subrutinas S0 que contiene la página (HOJA 8), realiza la operación de sumar a los registros operativos 5, 6 y 7 considerados como un sólo número binario el contenido del acumulador haciendo que tomen en caso de rebasar su capacidad el valor máximo que pueden tomar. La subrutina está organizada de modo que se pueda entrar en ella sobre cualquiera de los tres registros. Si se desea entrar sobre el registro menos significativo R(7) la dirección de entrada es la 238, 242 para entrar sobre el medio y 246 para hacerlo sobre el más significativo. Efectúa su retorno por la última dirección, es decir la 255.

La subrutina inmediatamente anterior a ésta, S1 contiene los pasos precisos para la entrada de datos de un parámetro y su conversión a binario natural así como su grabación en memoria de datos. Está contenida entre las direcciones 145 y 237, ambas inclusive (HOJAS 7 y 8) y hace uso de la subrutina anterior S2.

Su diagrama de bloques puede verse en la fig. 9. En primer lugar se dirige hacia la salida de las RAM 4002 el dato que identifica el dígito que debe introducirse y se detiene hasta que la señal de TEST se pone a 1 (lógica negativa) indicando que hay un dato en la puerta de entrada listo para ser admitido. Cuando esto ocurre, alcanza la dirección de retorno volviendo a la subrutina de origen donde se lee el dato y lo almacena en el registro de R(10), para volver inmediatamente a la subrutina anterior y repetir el ciclo con los registros 11,12 y 13 de modo que si se desea leer un parámetro de 3 dígitos, el punto de entrada deberá ser la línea 149.

A continuación realiza la función que indicábamos en párrafos precedentes de comprobar si el valor de la pendiente es suficiente para alcanzar la amplitud máxima. Si no fuera así procede a incrementar su valor hasta lo que sea.

Alcanzado este punto, empieza la parte en que el microcomputador suministra señales de control al circuito de salida, enviando el valor de la pendiente al 4003, si la salida no ha de ser una señal rectangular.

En lo que resta de secuencias no será preciso ya volver a la parte anterior. A partir de este momento entramos en un lazo controlado por el valor del parámetro DURACION dentro del cual está a su vez otro lazo que controla la amplitud sumándole en cada ciclo el valor del escalón de modo que

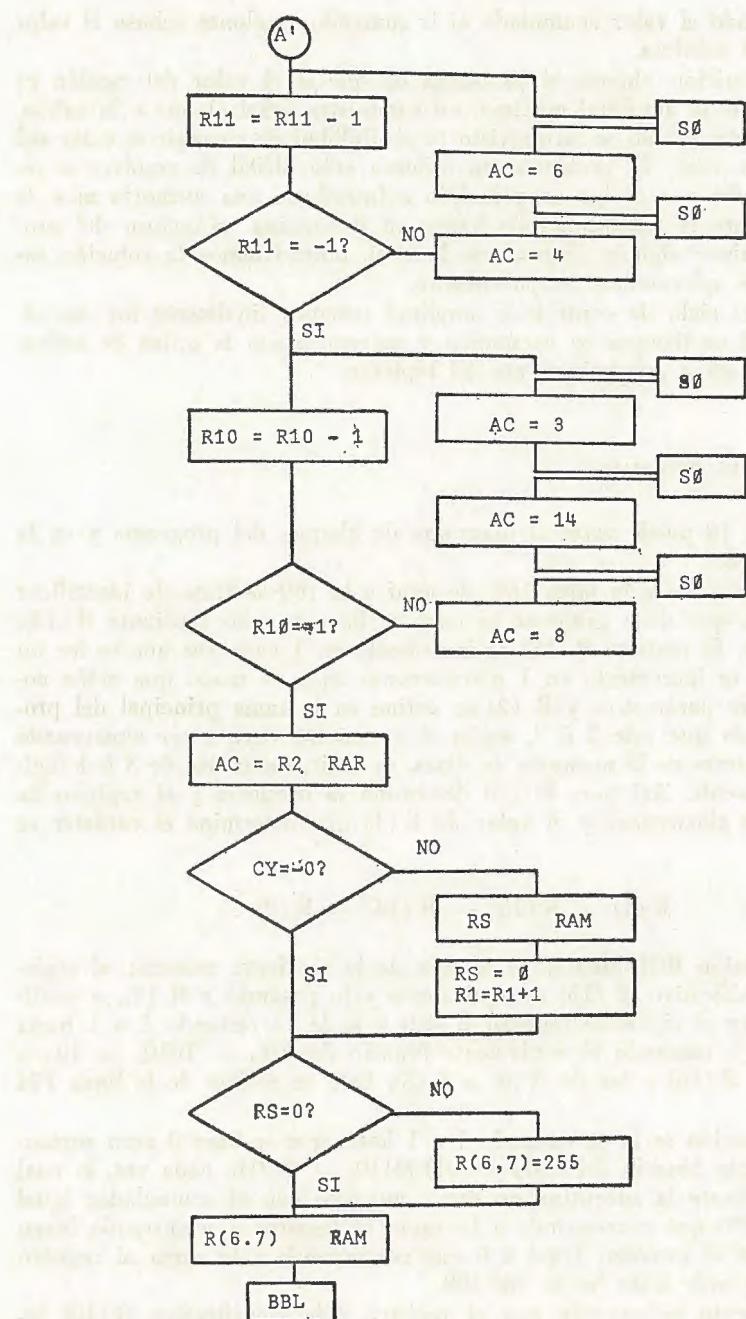


Fig. 9-b.—S1

sale de él cuando el valor acumulado al ir sumando escalones rebasa el valor de la amplitud máxima.

Esta disposición plantea el problema de que si el valor del escalón es mayor que el de la amplitud máxima, no suministra señal alguna a la salida, habida cuenta de que no se ha previsto la posibilidad de corregir el valor del escalón en este caso. El problema no hubiera sido difícil de resolver si no fuera porque ello nos obliga en principio a introducir una memoria más de programa. Existe la posibilidad de hacer un debugging minucioso del programa de eliminar algunas líneas, con lo cual, obtendríamos la solución satisfactoria, que aplazaremos temporalmente.

Dentro del ciclo de control de amplitud tenemos finalmente los dos ciclos de control de tiempos en excitación y en reposo con la orden de activación y desactivación respectivamente del biplexer.

DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

En la fig. 10 puede verse el diagrama de bloques del programa y en la tabla I su listado.

Así llegamos hasta la línea 160, de aquí a la 169 se trata de identificar la posición en que debe grabarse lo cual se lleva a cabo mediante R (15), R (14) y R (2). El registro R (15) se incrementa en 1 cada vez que se lee un dígito, R (14) se incrementa en 1 precisamente aquí de modo que actúa como contador de parámetros y R (2) se define en la rama principal del programa, de modo que vale 2 ó 3, según el parámetro vaya a ser almacenado en 2 ó 3 caracteres de la memoria de datos, es decir, según sea de 3 ó 4 dígitos respectivamente. Así pues R (\emptyset) determina la memoria y el registro de ella en que se almacenará y el valor de R (1) que determina el carácter se obtendrá:

$$R(1) = R(15) — R(14) — R(2)$$

La conversión BCD-binario se efectúa de la siguiente manera: el registro menos significativo R (13) es equivalente y lo pasamos a R (7), a continuación se coge el siguiente registro R (12) y se le va restando 1 a 1 hasta que se hace \emptyset , sumando el equivalente binario del $10_{10} = 1010_2 = 10_{16}$ a R (7) pasan a R (16) y los de R (6) a R (5). Esto se realiza de la línea 174 a la 185.

A continuación se le va restando 1 a 1 hasta que se hace 0 pero sumando el equivalente binario del $100_{10} = 01100110_2 = 06.04_{16}$ cada vez, lo cual se realiza mediante la subrutina de suma entrando con el acumulador igual por la línea 238 que corresponde a la suma al registro 7 y entrando luego por la 242 con el sumador igual a 6 que corresponde a la suma al registro 6. Esto corresponde a las líneas 186-198.

Análogamente se procede con el registro más significativo R (10) teniendo en cuenta el equivalente binario de $1000_{10} = 0011\ 0001\ 0111_2 = 03.14.08_{16}$. El resultado queda en R (5) R (6) R (7).

En las líneas 215-218 se procede a identificar mediante R (2) si son 2 ó 3 los datos a grabar en la memoria y ya en la línea 219 hasta 236 se procede a su grabación con la salvedad de que de 222 a 230 se efectúa en caso de ser la comprobación de si R (5) es distinto de cero en cuyo caso hacer R (6) y R (7) iguales a su máximo valor, es decir 15. La vuelta a la dirección de retorno se efectúa en la subrutina 237.

La subrutina S3 comprendida entre las líneas 101-117 (HOJA 6) realiza la función de leer de la memoria los datos de un parámetro de una cierta secuencia que hayan sido previamente almacenados, en los registros 13, 14 y 15 almanenando finalmente en R (12) el resultado de sumar R (14) + R (15), al objeto de poder determinar observando R (12) y el carry CY si R (14) y R (15) son 0. Obsérvese que se puede entrar en esta subrutina leyendo 3,2 ó 1 sólo caracteres de la RAM según se entre por los puntos 101,105 ó 109.

De la línea 89 a la 101 (HOJA 6) nos encontramos una subrutina S4 que coloca en los registros R (13) R (14) y R (15) su complementario a 2 considerados como una sola cifra. Puesto que el sistema MCS-4 para efectuar la sustracción al acumulador del contenido de un registro lo que hace es precisamente completar a unos el contenido del registro, sumarle el acumulador, y al resultado el complementario del carry, bastará, pues, poner el acumulador y el carry a cero, restar el contenido del registro menos significativo R (15) y almacenarlo en R (15), complementar el carry, poner el acumulador a cero, restar R (14) y almacenar el resultado en R (14) y repetir lo mismo con R (13).

El envío de datos bit a bit al registro de desplazamiento 4003 desde el acumulador es bastante engorroso y hay una notable cantidad de pasos que deben repetirse. En nuestro caso son 8 los bits que deben salir al 4003, de modo que la subrutina S5 que discurre entre las líneas 73-88 (HOJA 6) contiene todos los pasos que deberemos repetir 8 veces para enviar al 4003.

En primer lugar tiene 4 órdenes consecutivas de giro a la derecha de modo que si se ejecutan las 4, el bit más significativo queda en el carry, si sólo se ejecutan 3 de ellas será el segundo bit más significativo el que quede en el carry, de modo que para aislar un bit en el carry bastará entrar en la subrutina, de modo que se ejecuten 4, 3, 2 ó 1 giros para aislar el bit de más a menos significativo respectivamente.

A continuación se direcciona la puerta de salida de la RAM 1, donde se halla conectado el 4003 a los dos bits más significativos, el MSB será el dato y el siguiente será el reloj que en el 4003, que es estático, pueden variar simultáneamente en el tiempo, para enviar seguidamente el dato mediante las líneas 85-87.

Finalmente, la última de las subrutinas S6 contenida en las líneas 66-72 de la HOJA 6 ejecuta un retraso de 1 ms. mediante los registros R (8) y R (9). Teniendo en cuenta que el ciclo de instrucción es de 10.8 us, para obtener 1000 us. será precisa la ejecución de unos 39 ciclos de instrucción, a estos 93 quitémosle 2 que se emplean para el envío a subrutina, otros 2 que albergan la instrucción ISZ que formará el lazo de retraso, otros 2 donde se definirán los registros que determinarán el punto de salida del lazo y otro del retorno nos quedan, pues, 86 ciclos para realizar en la propia subrutina.

Con el lazo organizado de esta forma (líneas 68-71), un lazo con un sólo registro puesto a cero inicialmente para suministrar el máximo retraso posible es capaz de ejecutar 16 vueltas al lazo, es decir, 32 ciclos de instrucción antes de salir, luego tendremos que ejecutar $86/32 = 2.69$ ciclos de 32, es decir, 2 ciclos completos de 32 y otro incompleto. Como quiera que al salir al lazo exterior se efectúan dos ciclos más y tendrá que salir 3 veces el lazo interior tendrá que realizar un total $86-2.32 = 6 =$ ciclos de instrucción, es decir, 8 vueltas al lazo interior en la primera vuelta de lazo exterior y 16 vueltas en las otras 2 vueltas.

Por lo tanto el registro R (8) que es el exterior, deberá valer el complemento a 16 de 3, es decir, 13 y el registro deberá valer el complemento a 16 de 8, es decir, 8.

Pasemos a continuación a describir la rama principal del programa (fig. 10).

Al pulsar el pulsador CLEAR del teclado de entrada se actúa sobre el RESET del sistema MCS-4 poniendo todos sus elementos a cero, incluso el contador de programa, con lo cual el microcomputador empieza a ejecutar inmediatamente el programa a partir de la dirección \emptyset, \emptyset es por ello que en las líneas \emptyset, \emptyset y $\emptyset, 1$ (HOJA 1) se introduce la instrucción de salto condicional de modo que si el conmutador PRGM-RUN está en la posición RUN, es decir TEST = 1 (lógica negativa) esta instrucción forma un lazo del que sale hasta que TEST = \emptyset , caso que no pueda darse al pulsar un pulsador cualquiera del teclado, dado que el sistema de inhibición de paso de la señal de TEST que hemos establecido en el circuito de entrada, solamente saldrá cuando el conmutador se pase a la posición PRGM.

Inmediatamente después de salir de este lazo en las líneas $\emptyset, 2$ y 3 se hace el registro R (2) = 3 y R (3) = 13. El significado de R (2) lo vimos al hablar de la subrutina de entrada de datos, R (3) formará un lazo de 3 vueltas que servirá para leer los 3 parámetros de 4 dígitos. A continuación pasa la subrutina de entrada de datos 3 veces consecutivas en virtud del lazo formado por R (3) mediante la instrucción ISZ, para volver a efectuar lo mismo con R (2) = 2 en las líneas $\emptyset, 12-\emptyset, 19$ (HOJA 1).

Llegados a este punto ya han sido almacenados en la secuencia de datos, todos los relativos a un número entero de secuencias, entonces se incrementa R (0) (línea 0.20) que es el que direcciona el registro y la memoria en que van a ser grabados para que los datos de la próxima secuencia queden en el registro siguiente de la RAM 4002 que corresponda. A continuación (líneas 0.21-0.23) se le resta a 7 el contenido de R (0) de modo que si el carry da cero indicará que se han introducido ya 8 secuencias y no pueden introducirse más, ya que la cantidad de datos introducidos rebasaría la capacidad de las memorias de datos.

De la línea 0.24 a la 0.33 se produce un retraso de unos 3 segundos, tiempo durante el cual deberá pasar el conmutador de PRGM a RUN si no se desean introducir más datos, ya que si no, en virtud del contenido de las líneas siguientes accedería pasado este tiempo, de nuevo al ciclo de entrada de datos. Veamos cómo se realiza esto. En las líneas 0.34-0.35 hay una orden de salto condicionado por la señal TEST=1 a la línea 0.40 que es donde comienza la ejecución, con lo cual si el conmutador se retiene en la posición

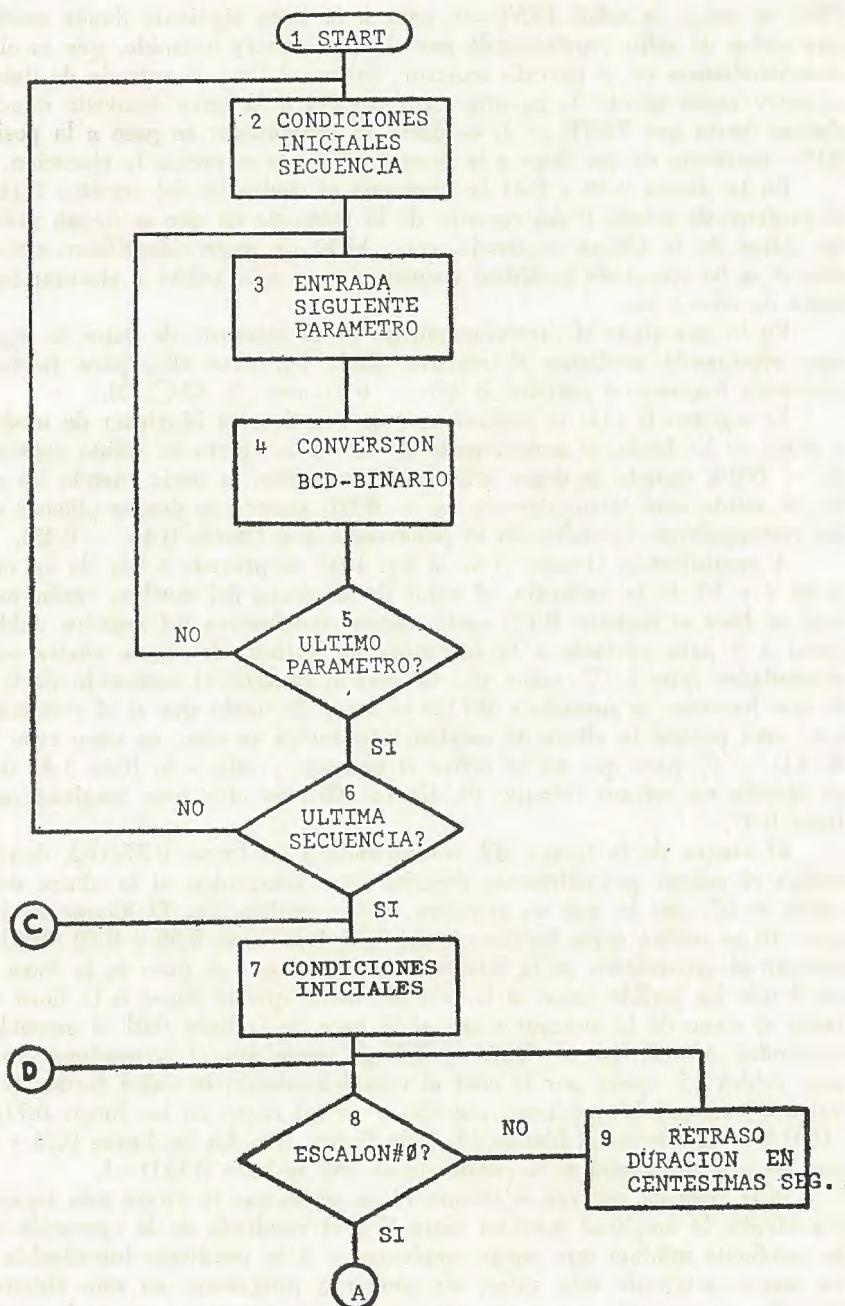


Fig. 10-a.—Rama principal del programa del microcomputador.

PRG es decir, la señal TEST=0, pasa a la línea siguiente donde mediante una orden de salto condicionado por el último carry obtenido, que es el que mencionábamos en el párrafo anterior, vuelve al lazo de entrada de datos si el carry sigue siendo 1, en otro caso pasaría a la línea siguiente donde se detiene hasta que TEST = 1, es decir, el conmutador se pase a la posición RUN, momento en que llega a la línea 0.40 donde comienza la ejecución.

En las líneas 0.40 y 0.41 se almacena el contenido del registro R (0) en el carácter de estado 0 del registro de la memoria en que se hayan grabado los datos de la última secuencia, con objeto de poder identificar mediante éste si se ha ejecutado la última secuencia y se debe volver a ejecutar la primera de ellas o no.

En lo que sigue el direccionamiento de la memoria de datos lo seguiremos efectuando mediante el registro doble \emptyset , para ello, para iniciar la ejecución haremos el registro R (\emptyset) = 0 (líneas \emptyset , 42- \emptyset , 43).

El registro R (11) lo utilizaremos para activar el biplexer de modo tal y como se ha hecho el conexionado de éste a la puerta de salida deberá ser $2_{10} = 0010_2$ cuando se desee utilizar el integrador, es decir cuando las señales de salida sean triangulares o $1_{10} = 0001_2$ cuando se deseen obtener señales rectangulares. Inicialmente lo pondremos a 2 (líneas 0.44 — 0.45).

A continuación (bloque 8 de la fig. 10a), se procede a leer de los caracteres 9 y 10 de la memoria, el valor de la altura del escalón, razón por lo cual se hace el registro R (1) parte menos significativa del registro doble \emptyset igual a 9 para enviarlo a la subrutina de lectura, de donde vuelve con el acumulador igual a \emptyset , razón por la cual al sumarle el contenido de R (12) lo que hacemos es sumarle a R (12) el carry de modo que si el resultado es cero será porque la altura de escalón introducida es cero, en cuyo caso hace R (11) = \emptyset para que no se active el biplexer y salte a la línea 1.43 donde se efectúa un retraso (bloque 10, figura 10b), en otro caso continúa por la línea 0.57.

El bloque de la figura 10b corresponde a las líneas 0.57-0.63, donde se utiliza el mismo procedimiento descrito para comprobar si la altura del escalón es \emptyset , por lo que no requiere mayor explicación. El bloque de la figura 10 se realiza entre las líneas 0.64-0.68. Las líneas 0.69 y 0.70 (HOJA 2) colocan al acumulador en la misma situación en que se puso en la línea 0.61 de donde ha podido saltar a la 0.71 de modo que al llegar a la línea 0.71, tanto si viene de la anterior como si lo hace de la línea 0.61 el acumulador contendrá $AC = R(14) + R(5) + CY$ de modo que si la pendiente es 255 esto valdrá 15, razón por la cual al complementario, la única forma de que valga \emptyset es que la pendiente sea 255 y es así como en las líneas 0.71-0.73 (HOJA 2) se efectúa el bloque 13 de la figura 10b. En las líneas 0.74 y 0.75 por las que no pasará si la pendiente es 255 se hace R (11)=1.

A la hora de realizar el bloque 14 se pensó que la forma más lógica sería dividir la amplitud máxima entre W_H el resultado de la operación sería la pendiente mínima que puede emplearse y si la pendiente introducida fuera menor asignarle este valor, sin embargo programar en este sistema la división aunque sólo sea entre números de dos caracteres, se pudo comprobar al intentarlo que precisaba de un número de líneas superior al de una hoja completa. Por otra parte, puesto que esta operación se realiza antes de

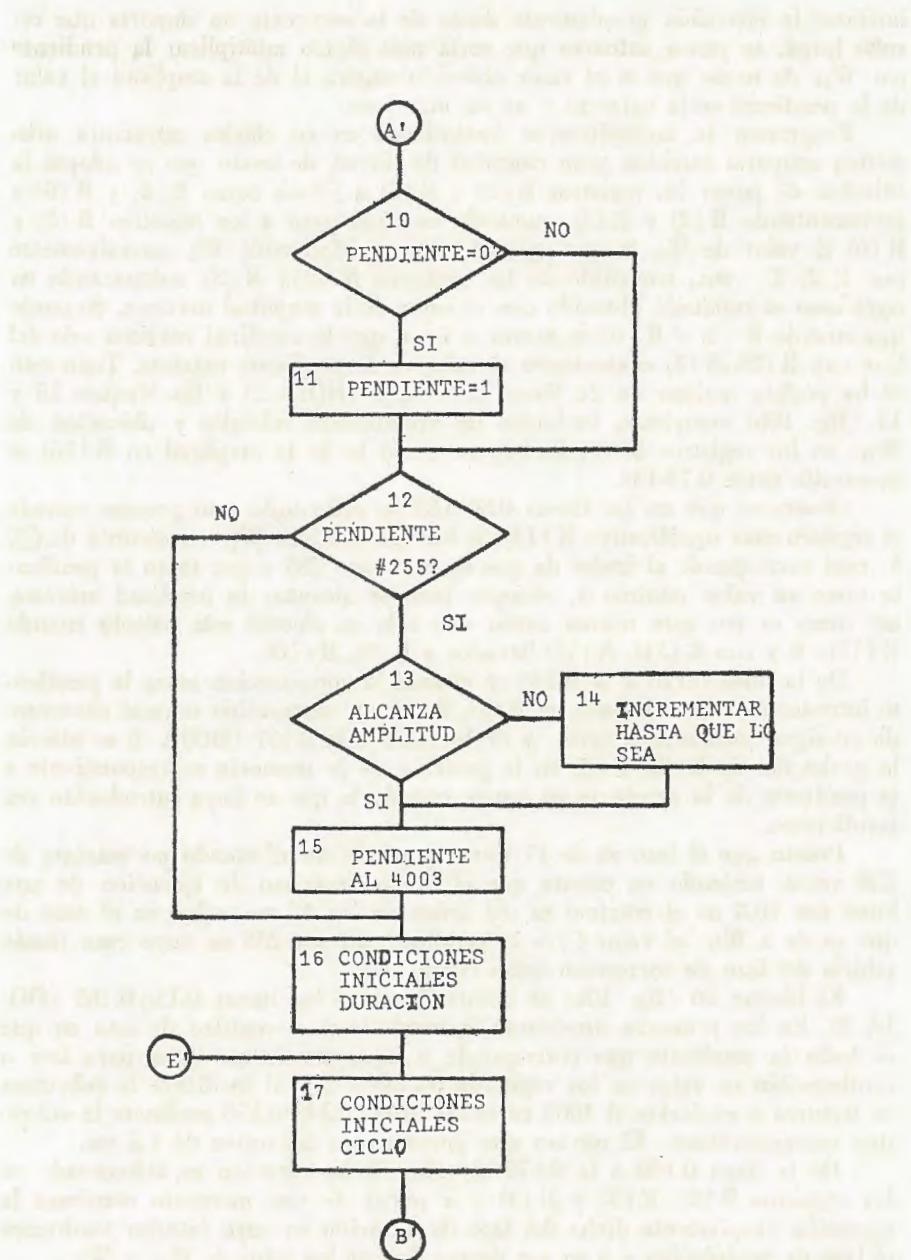


Fig. 10-b.—Rama principal del programa del microcomputador.

iniciarse la ejecución propiamente dicha de la secuencia no importa que resulte larga, se pensó entonces que sería más lógico multiplicar la pendiente por W_H de modo que si el valor obtenido supera el de la amplitud el valor de la pendiente sería correcto y no en otro caso.

Programar la multiplicación basándonos en su clásica estructura aritmética ocuparía también gran cantidad de líneas, de modo que se adoptó la solución de poner los registros R (2) y R (3) a \emptyset así como R (5) y R (6) e incrementando R (2) y R (3), sumando en cada paso a los registros R (5) y R (6) el valor de W_H lo que equivale a ir multiplicando W_H sucesivamente por 1, 2, 3... etc., contenido de los registros R (2) y R (3), comparando en cada caso el resultado obtenido con el valor de la amplitud máxima, de modo que cuando R (5) y R (6) es mayor o igual que la amplitud máxima sale del lazo con R (2), R (3) conteniendo el valor de la pendiente máxima. Todo esto se ha podido realizar en 21 líneas 0.97-0.117 (HOJA 2) y los bloques 15 y 15 (fig. 10b) completas, incluidas las condiciones iniciales y ubicación de W_H en los registros R (9), R (10) así como la de la amplitud en R (15) se desarrolla entre 0.74-133.

Obsérvese que en las líneas 0.80-0.82 se evita todo este proceso cuando el registro más significativo R (13) de los que contiene W_H es distinto de \emptyset , lo cual corresponde al hecho de que en este caso 255 y por tanto la pendiente tome su valor mínimo 1, siempre permite alcanzar la amplitud máxima, así como es por esta misma razón que sólo se efectúa este cálculo cuando R (13)=0 y con R (14), R (15) llevados a R (9), R (10).

De la línea 0.118 a la 0.128 se efectúa la comparación entre la pendiente introducida y la calculada en R (2), R (3) por sustracción normal observando su signo mediante el carry, y de la 0.129 a la 0.137 (HOJA 3) se efectúa la grabación de R (2), R (3) en la posición de la memoria correspondiente a la pendiente de la secuencia en curso, cuando lo que se haya introducido sea insuficiente.

Puesto que el lazo es de 17 líneas y puede ser efectuado un máximo de 256 veces, teniendo en cuenta que el tiempo máximo de ejecución de una línea son 10.8 us el máximo es del orden de los 47 ms. salvo en el caso de que se de a W_H el valor \emptyset y la pendiente no sea 255 en cuyo caso jamás saldría del lazo de corrección antes citado.

El bloque 16 (fig. 10b) se desarrolla entre las líneas 0.138-0.165 (HOJA 3). En las primeras direcciona la memoria y el registro de ésta en que se halla la pendiente que corresponde a la secuencia en curso para leer a continuación su valor en los registros R (14) y R (15) mediante la subrutina de lecturas y enviarlos al 4003 entre las líneas 0.145-0.156 mediante la subrutina correspondiente. El retraso que introduce es del orden de 1.5 ms.

De la línea 0.166 a la 0.175 el valor de la duración es almacenado en los registros R (2), R (3) y R (4) y a partir de este momento comienza la ejecución propiamente dicha del lazo de duración en cuyo interior tendremos el lazo de modulación y a su vez dentro de éste los lazos de W_H y W_L .

El punto de retorno del lazo de duración en la línea 0.176 y el del lazo de modulación el 0.180.

La amplitud instantánea la almacenaremos en los registros R (5), R (6), puesto que con ellos puede utilizarse la subrutina de suma contenida al final

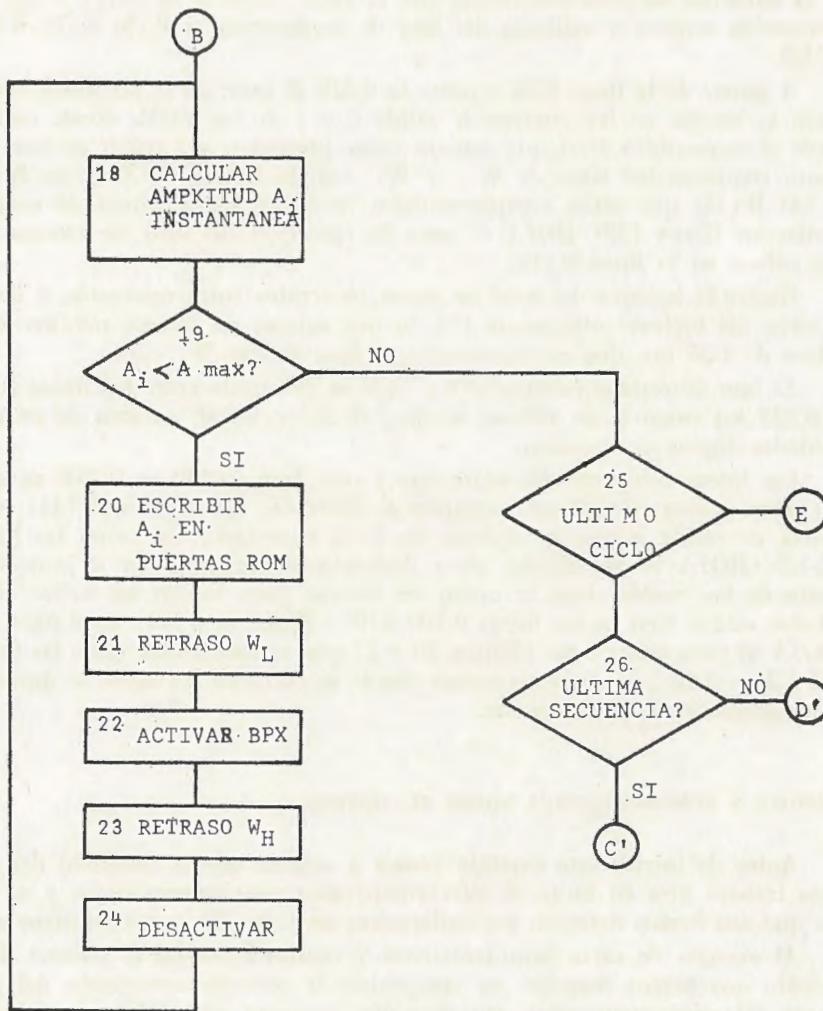


Fig. 10-c.—Rama principal del programa del microcomputador.

de la página 1 (HOJA 8) y es por ello que cada vez que se inicia un ciclo de modulación es preciso ponerlos a \emptyset (líneas 0.176-179).

El bloque 19 (fig. 10c) se desarrolla entre las líneas 0.180-0.189 (HOJA 3) y en las dos siguientes se sale del lazo si el valor obtenido supera la capacidad de los registros empleados.

Entre las líneas 0.192-0.203 (HOJA 4) se lee en R (14), R (15) el valor de la amplitud máxima comparado con el valor obtenido en R (5), R (6) por sustracción normal y saliendo del lazo de modulación si R (5) R (6) R (14) R (15).

A partir de la línea 0.24 y hasta la 0.212 el valor de la amplitud instantánea es escrito en las puertas de salida 0 y 1 de las ROM, donde está situado el convertidor D/A que actuará como limitador, y a partir de este momento empiezan los lazos de W_H y W_L con la lectura de W_L en R (13) R (14) R (15) que están complementados mediante la subrutina de complementación (línea 1.89 - HOJA 6) para la ejecución del lazo de retraso que nos coloca en la línea 0.219.

Haciendo balance del total de pasos recorridos entre activación y desactivación del biplexer obtenemos 125, lo que supone un retraso mínimo entre pulsos de 1.35 ms. que correspondería al caso en que $W_L = 0$.

El lazo de retraso relativo a W_L que se desarrolla entre las líneas 0.213 — 0.229 así como el de retraso de W_H (0.235 — 0.250) carecen de particularidades dignas de mención.

Las líneas comprendidas entre uno y otro lazo (0.230 — 0.234) se utilizan para activar el biplexer cargando el contenido del registro R (11) en la puerta de salida a que el biplexer se haya conectado, así como las líneas 1.4-1.8 (HOJA 5) se utilizan para desactivarlo cargando un 0 inmediatamente de las cuales viene la orden de retorno para iniciar un nuevo ciclo, del que saldrá bien en las líneas 0.190-0.191 (HOJA 3) o bien en 0.202-0.203 (HOJA 4) para pasar a los bloques 26 y 27 que se desarrollan entre las líneas 1.11-1.27 y 1.28-1.41 respectivamente donde se cerrarán los lazos de duración y de secuencias respectivamente.

MEDIDAS Y COMPROBACIONES SOBRE EL SISTEMA

Antes de iniciar este capítulo vamos a señalar que la finalidad del presente trabajo gira en torno al microcomputador propiamente dicho y es por ello que nos hemos detenido particularmente en todos los pasos relativos a él.

Al margen de estas consideraciones y centrándonos en el sistema desarrollado nos hemos detenido en comprobar la correcta concepción del programa del microcomputador, mientras que por otra parte hemos omitido el calibrador y ajuste de los elementos controlados por éste, puesto que no es imprescindible para comprobar su funcionamiento.

Las comprobaciones efectuadas han arrojado como veremos a continuación, resultados totalmente satisfactorios avalando así la eficacia del ensamblador utilizado.

MEDIDAS EN EL DOMINIO DEL TIEMPO

En la figura 19 pueden verse los retrasos de tiempo obtenidos debido a los pasos de programa realizados entre las órdenes que controlan la unidad de salida.

La fig. 19-a corresponde a la siguiente entrada:

0000	0000	9999	100	100	999
W _H	W _L	D	M	A	S

representa la salida del sistema sobre 1 K y puesto que la escala horizontal son 0.5 ms/div. de ella se puede reducir que la anchura mínima de pulso (W_H = 0). Se comprobó que la duración total de esta secuencia es de unos 12 seg. La mínima secuencia se probó con otros valores de la duración introducido, lo que induce a pensar que la subrutina de conversión BCD-Binario natural funciona correctamente. La figura corresponde a la siguiente entrada:

0001	0000	0001	100	100	100
W _H	W _L	D	M	A	S

Como en todas las que se representa la salida, se ha efectuado con una carga de 1 K.

La escala horizontal corresponde a 10 ms/div. y por lo tanto el retraso entre la secuencia anterior, sea del tipo que fuera y una que contiene órdenes de control de pendiente es del orden de los 48 ms. mientras que puede verse cómo el tiempo que transcurre entre 2 impulsos de la misma secuencia es del orden de los 2.5 ms. que habíamos observado en el oscilograma de la figura.

En la figura 19 c pueden verse las líneas de control del 4003 (Shift Register) en el momento en que le llegan los datos relativos a la pendiente. La línea es el reloj y la siguiente los datos relativos a la pendiente, la línea inferior corresponde a uno de los terminales de la salida.

Los datos de entrada fueron en este caso:

0001	0000	0000	120	120	120
W _H	W _L	D	M	A	S

Obsérvese que el número de ciclos que ejecuta es igual al número introducido + 1, con objeto de evitar la posibilidad de que no se ejecute ninguno.

La escala horizontal estaba situada en 0.5 ms/div. de donde se deduce que el tiempo empleado para enviar los datos relativos a la pendiente al

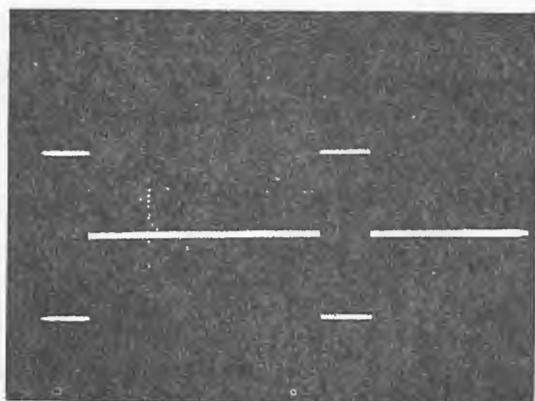


Fig. 19-a

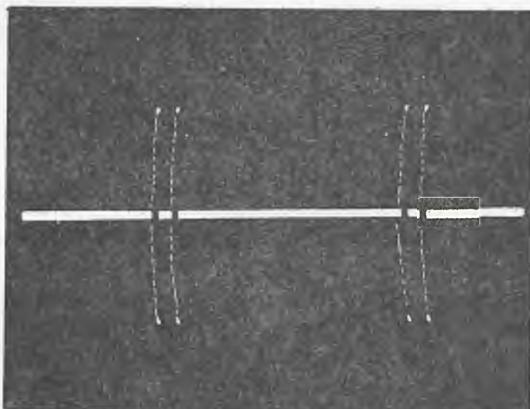


Fig. 19-b

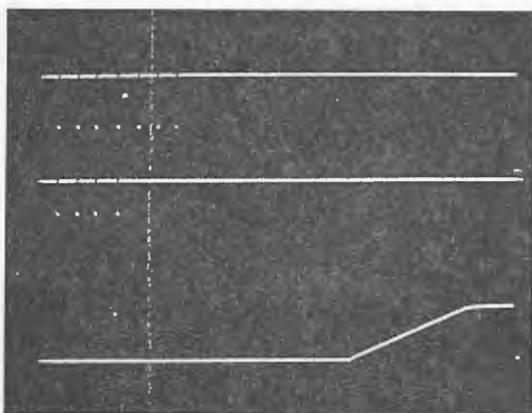


Fig. 19-c

4003 es del orden de 1.5 ms. y el retraso desde que sale el último dato al 4003 que se inicia la ejecución es del orden de 1.8 ms. Este tiempo es próximo a los 2.5 ms. de retraso entre ciclos, veamos por qué: tanto si contiene órdenes de control de pendiente en los datos como si no, el programa discurre por una serie de líneas que comienza la interpretación de una secuencia cuya duración es de unos 0.2 ms. en el programa propiamente dicho + 2 envíos a una subrutina de unos 0.13 ms. lo que hacen unos 0.45 ms. Al llegar a este punto si se ha especificado un valor de pendiente (S) menor de 255 pasa a comprobar si el valor dado es suficiente para alcanzar la amplitud máxima en el tiempo W_H y si no incrementa hasta que lo sea para enviarla después al 4003. Si el valor de la pendiente fuera 255, saltaría hasta este punto para seguir el mismo camino sea cual fuere el valor de la pendiente.

A partir de este momento realiza la puesta de condiciones iniciales, calcula la amplitud instantánea y finalmente envía este valor a las puertas de salida, todo lo cual lleva 53 líneas + 7 envíos a subrutina lo que hacen unos $0.53 + 0.91 = 1.44$ ms. más luego el tiempo que emplea en sacar de la memoria el valor de W_H complementario y activar el biplexer que son unos 0.35 ms. viene a dar los 1.8 ms. entre la salida al 4003 y la aparición de la señal. Si a esto sumamos el valor anterior y el tiempo que sigue a la desactivación del biplexer hasta el retorno al comienzo del ciclo obtendremos los 2.5 ms. que habíamos medido.

Téngase presente que estos tiempos no son exactamente iguales para todos los tiempos de secuencia, pues según sean los datos introducidos algún salto condicional puede reducir ligeramente estos valores que son sus valores máximos.

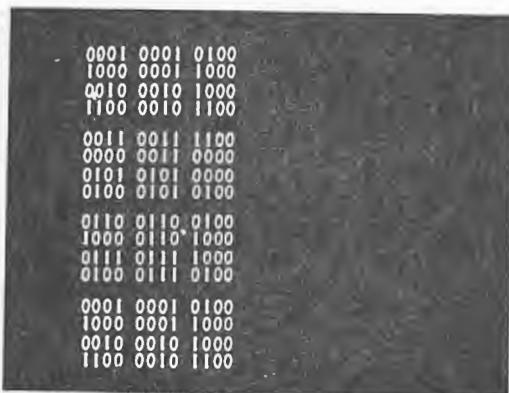
DATOS EN LAS PUERTAS DE SALIDA

Vamos a comprobar el correcto funcionamiento de las puertas de salida asociadas a la memoria de programa. Estas son dos puertas que controlan la amplitud instantánea mediante el convertidor D/A cuya salida se utiliza como referencia del limitador.

El acceso de estas puertas está controlado por la C. P. U. (4004) a través de uno de los chips de interfase del 4009.

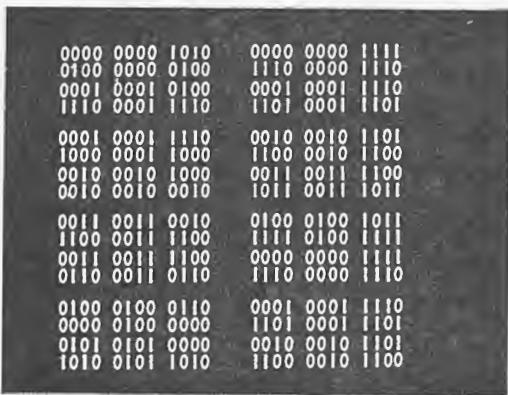
Este dispositivo controlado por la C. P. U. envía los datos al bus I/O y una vez realizado esto envía a través de la línea OUT un pulso negativo de unos 400 us. de duración compatible con circuitos TTL, con este y con el bit Co del 4008 cuya finalidad es identificar tanto el número de memoria de programa cuando va a leer una instrucción con el número de puerta de salida cuando envía datos a éstas, activaremos la entrada de los biestables D de 9308 que retendrán esta información hasta que el 4009 envíe otro pulso de control indicando la presencia de un nuevo envío de datos a la salida.

En la figura 20 puede comprobarse el correcto funcionamiento de esta parte del sistema. Se ha empleado un analizador de estados lógicos de 12 bits, utilizando como reloj la señal OUT del 4009 y disparándolo por el flanco de subida, momento en que los datos ya han sido almacenados por el registro. Los 4 bits más significativos (izquierda) representan el contenido del bus I/O



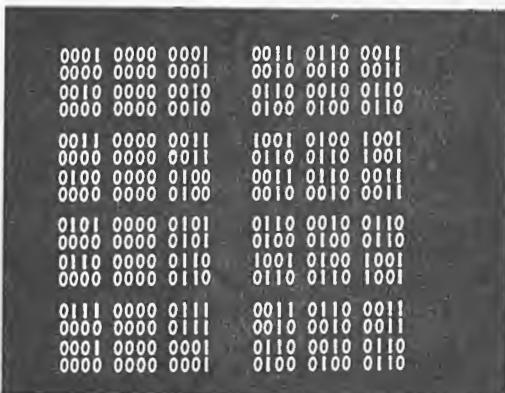
A 10x10 binary matrix (A) displayed in a dark box. The matrix consists of 100 binary digits (0 or 1) arranged in a 10x10 grid. The digits are: 0001 0001 0100, 1000 0001 1000, 0010 0010 1000, 1100 0010 1100, 0011 0011 1100, 0000 0011 0000, 0101 0101 0000, 0100 0101 0100, 0110 0110 0100, 1000 0110 1000, 0111 0111 1000, 0100 0111 0100, 0001 0001 0100, 1000 0001 1000, 0010 0010 1000, 1100 0010 1100.

Fig. 20-a



A 10x10 binary matrix (B) displayed in a dark box. The matrix consists of 100 binary digits (0 or 1) arranged in a 10x10 grid. The digits are: 0000 0000 1010, 0000 0000 1110, 0100 0000 0100, 1110 0000 1110, 0001 0001 0100, 0001 0001 1110, 1110 0001 1110, 0000 0001 1110, 0010 0010 1101, 1000 0001 1000, 1100 0010 1100, 0010 0010 0000, 0011 0011 1100, 0000 0010 0000, 0111 0011 1100, 0000 0010 0000, 0110 0011 1100, 0011 0011 0010, 1100 0011 1100, 0011 0011 1100, 0100 0100 0110, 0001 0001 1101, 0000 0100 0000, 1101 0001 1101, 0101 0101 0000, 0010 0010 1101, 1010 0101 1010, 1100 0010 1100.

Fig. 20-b



A 10x10 binary matrix (C) displayed in a dark box. The matrix consists of 100 binary digits (0 or 1) arranged in a 10x10 grid. The digits are: 0001 0000 0001, 0011 0110 0011, 0000 0000 0001, 0010 0010 0011, 0010 0000 0010, 0110 0010 0110, 0000 0000 0010, 0100 0100 0110, 0011 0000 0100, 0010 0010 0011, 0011 0000 0011, 1001 0100 1001, 0000 0000 0011, 0110 0110 1001, 0100 0000 0100, 0011 0110 0011, 0000 0000 0100, 0010 0010 0011, 0101 0000 0101, 0110 0010 0110, 0000 0000 0101, 0100 0100 0110, 0110 0000 0110, 1001 0100 1001, 0000 0000 0111, 0011 0110 0011, 0000 0000 0001, 0110 0010 0110, 0000 0000 0001, 0100 0100 0110.

Fig. 20-c

del 4009, los cuatro centrales el contenido del registro más significativo y los 4 menos significativos (derecha) el contenido de registro menos significativo. Los oscilogramas 20 b y 20 c se han obtenido impresionando la misma placa con 2 secuencias diferentes convenientemente situadas en la pantalla antes de abrir el objetivo.

La figura 20 a corresponde a una amplitud máxima de 120 alcanzada en 6 escalones de 20. La primera línea contiene el 20 (16+4) y en el bus I/O puede verse el mismo dato que contiene el registro más significativo que acaba de ser activado por la señal OUT.

El siguiente dato a enviar sería el 40 (32+8). Para ello envía primero el 8 al registro menos significativo, lo que corresponde a la segunda línea mientras el más significativo permanece con el valor anterior. En la tercera línea del oscilograma puede verse el envío del resto al registro más significativo, mientras el menos significativo permanece en el valor anterior de modo que puesto que la señal del 9308, el contenido de las 2 puertas de salida en ese instante es el que aparece en aquellas líneas en que el contenido del bus I/O (izquierda) es igual al del registro más significativo (centro) último en recibir datos en el caso del oscilograma las líneas impares.

Puede observarse cómo el contenido de la línea 13 es decir 12 ciclos de transmisión de datos más tarde, es exactamente igual al de la línea 1, como corresponde a la secuencia introducida a la que se dio la duración máxima para favorecer la observación de estos datos.

Análogamente puede comprobarse que el oscilograma corresponde a una amplitud máxima de 80 en 8 escalones de 10 (mitad izquierda) y una amplitud máxima de 75 en 5 escalones de 15 mientras que la figura 20 c corresponde a 7 escalones de 1 (mitad izquierda) y 3 escalones de 35 (mitad derecha).

En la figura 21 puede verse algunas de las posibilidades del sistema (salida sobre 1 K) en la última se representa además la señal de control del biplexer.

La comprobación del correcto funcionamiento de la puerta de salida asociada a la RAM 4002-1/0 (Poa-10 V) es inmediata desde el momento en que el envío de datos al registro de desplazamiento 4003 es correcto y las señales de activación y desactivación del biplexer formado por el CD 016 es igualmente correcto.

Para comprobar la puerta de salida asociada a la RAM 4002-1/1 (po a 5 V) se han conectado unos LED'S light Emitter Diode) a través de unos transistores de ataque de modo que considerando apagado = 0, encendido = 1 indican el número de dígito (en binario) que corresponde introducir cuando está en programación (PRGM), siendo su funcionamiento totalmente satisfactorio.

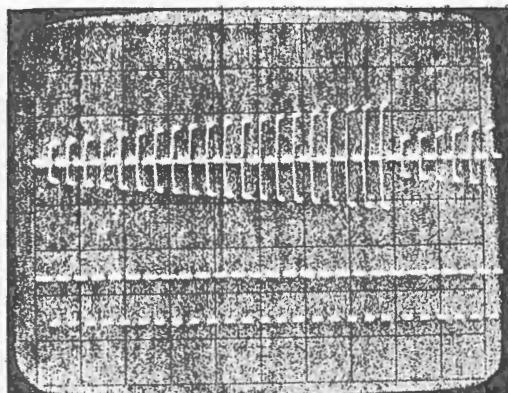
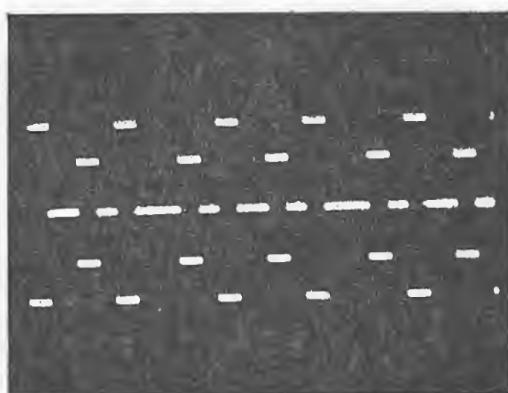
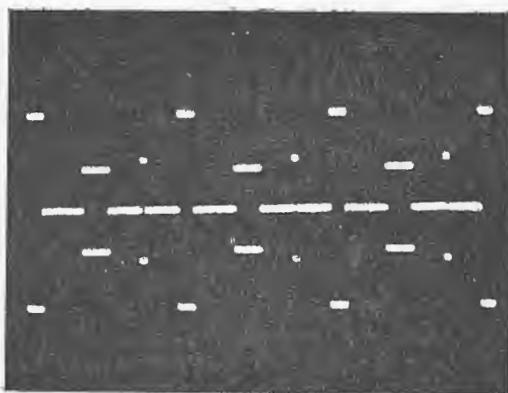


Fig. 21

HOJA 1						
LINEA	NO.	MNEMONIC	DPR. OPA.	HCD.	DECIMAL	OCTAL
0	0	JCH TS#0	1 1001	1 9	25	31
0	1	0	0 0	0 0	0	0
0	2	FIM 1	10 10	2 2	34	42
0	3	61	11 1101	3 13	61	75
0	4	FIM 3	10 110	2 6	58	46
0	5	64	100 0	4 0	64	100
0	6	JMS 1	101 1	5 1	81	121
0	7	144	1001 0	9 0	144	220
0	8	ISZ 3	111 11	7 3	115	163
0	9	4	0 100	0 4	4	4
0	10	FIM 1	10 10	2 2	34	42
0	11	45	10 1101	2 13	45	55
0	12	FIM 3	10 110	2 6	38	46
0	13	64	100 0	4 0	64	100
0	14	LDM 0	1101 0	13 0	208	320
0	15	XCH 10	1011 1010	11 10	186	272
0	16	JMS 1	101 1	5 1	81	121
0	17	149	1001 101	9 5	149	225
0	18	ISZ 3	111 11	7 3	115	163
0	19	12	0 1100	0 12	12	14
0	20	INC 0	110 0	6 0	96	140
0	21	CDC	1111 1	15 1	241	361
0	22	LDM 7	1101 111	13 2	215	327
0	23	SUB 0	1001 0	9 0	144	220
0	24	NOP	0 0	0 0	0	0
0	25	NOP	0 0	0 0	0	0
0	26	ISZ 14	111 1110	7 14	126	176
0	27	24	1 1000	1 8	24	30
0	28	ISZ 15	111 1111	7 15	127	177
0	29	24	1 1000	1 8	24	30
0	30	ISZ 4	111 100	7 4	116	164
0	31	24	1 1000	1 8	24	30
0	32	ISZ 8	111 1000	7 0	120	170
0	33	24	1 1000	1 0	24	30
0	34	JCH TS#0	1 1001	1 9	25	31
0	35	40	10 1000	2 8	40	50
0	36	JCH CY#0	1 10	1 2	18	22
0	37	2	0 10	0 2	2	2
0	38	JCH TS=0	1 1	1 1	17	21
0	39	38	10 110	2 6	38	46
0	40	LDR 0	1010 0	10 0	160	240
0	41	WR0	1110 100	14 4	228	344
0	42	LDM 0	1101 0	13 0	208	320
0	43	XCH 0	1011 0	11 0	176	260
0	44	LDM 2	1101 10	13 2	210	322
0	45	XCH 11	1011 1011	11 11	187	273
0	46	LDM 9	1101 1001	13 9	217	331
0	47	XCH 1	1011 1	11 1	177	261
0	48	JMS 1	101 1	5 1	81	121
0	49	105	110 1001	6 9	105	151
0	50	ADD 12	1000 1100	8 12	140	214
0	51	JCH AC#0	1 1100	1 12	28	34
0	52	.57	11 1001	3 9	57	71
0	53	LDM 0	1101 0	13 0	208	320
0	54	XCH 11	1011 1011	11 11	187	273
0	55	JUN 1	100 1	4 1	65	101
0	56	43	10 1011	2 11	43	53
0	57	LDM 13	1101 1101	13 13	221	335
0	58	XCH 1	1011 1	11 1	177	261
0	59	JMS 1	101 1	5 1	81	121
0	60	105	110 1001	6 9	105	151
0	61	LDR 12	1010 1100	10 12	172	254
0	62	RAR	1111 110	15 6	246	366
0	63	QMA	1111 100	15 4	244	364

Tabla 1-a

HOJA 2						
LINER NO.	MNEMONIC	OPR: -OPA.	HCD.	DECIMAL	OCTAL	
0 64	JCN AC=0	1 100	1 4	20	24	
0 65	166	1010 110	10 6	166	246	
0 66	CMC	1111 11	15 3	243	363	
0 67	RDD 12	1000 1100	8 12	140	214	
0 68	JCN AC#0	1 1100	1 12	20	34	
0 69	74	100 1010	4 10	74	112	
0 70	LDM 1	1101 1	13 1	209	321	
0 71	WRM	1110 0	14 0	224	340	
0 72	NOP	0 0	0 0	0	0	
0 73	NOP	0 0	0 0	0	0	
0 74	LDM 1	1101 1	13 1	209	321	
0 75	XCH 11	1011 1011	11 11	187	273	
0 76	LDM 0	1101 0	13 0	208	320	
0 77	XCH 1	1011 1	11 1	177	261	
0 78	JMS 1	101 1	5 1	81	121	
0 79	101	110 101	6 5	101	145	
0 80	LDR 13	1010 1101	10 13	173	255	
0 81	JCN AC#0	1 1100	1 12	20	34	
0 82	138	1000 1010	8 10	138	212	
0 83	LDR 14	1010 1110	10 14	174	256	
0 84	XCH 9	1011 1001	11 9	185	271	
0 85	LDR 15	1010 1111	10 15	175	257	
0 86	XCH 10	1011 1010	11 10	186	272	
0 87	FIM 3	10 110	2 6	38	46	
0 88	0	0 0	0 0	0	0	
0 89	LDM 0	1101 0	13 0	208	320	
0 90	XCH 5	1011 101	11 5	181	265	
0 91	LDM 11	1101 1011	13 11	219	333	
0 92	XCH 1	1011 1	11 1	177	261	
0 93	JMS 1	101 1	5 1	81	121	
0 94	105	110 1001	6 9	105	151	
0 95	FIM 1	10 10	2 2	34	42	
0 96	1	0 1	0 1	1	1	
0 97	LDR 10	1010 4010	10 10	170	252	
0 98	JMS 1	101 1	5 1	81	121	
0 99	242	1111 10	15 2	242	362	
0 100	LDR 9	1010 1001	10 9	169	251	
0 101	JMS 1	101 1	5 1	81	121	
0 102	246	1111 110	15 6	246	366	
0 103	JCN CY#0	1 10	1 2	18	22	
0 104	138	1000 1010	8 10	138	212	
0 105	LDR 6	1010 110	10 6	166	246	
0 106	SUB 15	1001 1111	9 15	159	237	
0 107	CMC	1111 11	15 3	243	363	
0 108	LDR 5	1010 101	10 5	165	245	
0 109	SUB 14	1001 1110	9 14	158	236	
0 110	JCN CY#0	1 10	1 2	18	22	
0 111	118	111 110	7 6	118	166	
0 112	ISZ 3	111 11	7 3	115	163	
0 113	97	110 1	6 1	97	141	
0 114	ISZ 2	111 10	7 2	114	162	
0 115	97	110 1	6 1	97	141	
0 116	FIM 1	10 10	2 2	34	42	
0 117	254	1111 1110	15 14	254	375	
0 118	LDM 13	1101 1101	13 13	221	335	
0 119	XCH 1	1011 1	11 1	177	261	
0 120	JMS 1	101 1	5 1	81	121	
0 121	105	110 1001	6 9	105	151	
0 122	LDR 3	1010 11	10 3	163	243	
0 123	SUB 15	1001 1111	9 15	159	237	
0 124	CMC	1111 11	15 3	243	363	
0 125	LDR 2	1010 10	10 2	162	242	
0 126	SUB 14	1001 1110	9 14	158	236	
0 127	JCN CY=0	1 1010	1 10	26	32	

Tabla 1-b

LINEA Nº.	MNEMONIC	OPR. OPR.	HCD.	DECIMAL	OCTAL
0 128	138	1000 1010	8 10	138	212
0 129	LDM 13	1101 1101	13 13	221	335
0 130	XCH 1	1011 .1	11 .1	177	261
0 131	SRC 0	10 .1	2 .1	33	41
0 132	LDR 2	1010 10	10 2	162	242
0 133	WRM	1110 0	14 0	224	348
0 134	INC 1	110 .1	6 1	97	141
0 135	SRC 0	10 .1	2 .1	33	41
0 136	LDR 3	1010 11	10 3	163	243
0 137	WRM	1110 0	14 0	224	348
0 138	LDM 13	1101 1101	13 13	221	335
0 139	XCH 1	1011 .1	11 .1	177	261
0 140	JMS .1	101 .1	5 1	81	121
0 141	105	110 1001	6 9	185	311
0 142	LDR 14	1010 1110	10 14	174	256
0 143	JMS 1	101 .1	5 1	81	121
0 144	.71	100 111	4 7	71	107
0 145	LDR 14	1010 1110	10 14	174	256
0 146	JMS 1	101 .1	5 1	81	121
0 147	.72	100 1000	4 0	72	110
0 148	LDR 14	1010 1110	10 14	174	256
0 149	JMS .1	101 .1	5 1	81	121
0 150	.73	100 1001	4 9	73	111
0 151	LDR 14	1010 1110	10 14	174	256
0 152	JMS 1	101 .1	5 1	81	121
0 153	.74	100 1010	4 10	74	112
0 154	LDR 15	1010 1111	10 15	175	257
0 155	JMS 1	101 .1	5 1	81	121
0 156	.71	100 1111	4 7	71	107
0 157	LDR 15	1010 1111	10 15	175	257
0 158	JMS .1	101 .1	5 1	81	121
0 159	.72	100 1000	4 0	72	110
0 160	LDR 15	1010 1111	10 15	175	257
0 161	JMS 1	101 .1	5 1	81	121
0 162	.73	100 1001	4 9	73	111
0 163	LDR 15	1010 1111	10 15	175	257
0 164	JMS 1	101 .1	5 1	81	121
0 165	.74	100 1010	4 10	74	112
0 166	LDM 6	1101 110	13 6	214	326
0 167	XCH 1	1011 .1	11 .1	177	261
0 168	JMS 1	101 .1	5 1	81	121
0 169	101	110 101	6 .5	101	145
0 170	LDR 13	1010 1101	10 13	173	255
0 171	XCH 2	1011 .0	11 2	178	262
0 172	LDR .74	1010 1110	10 14	174	256
0 173	XCH 3	1011 .1	11 3	179	263
0 174	LDR 15	1010 1111	10 15	175	257
0 175	XCH 4	1011 .00	11 4	180	264
0 176	LDM 0	1101 .0	13 0	208	320
0 177	XCH .5	1011 .01	11 5	181	265
0 178	FIM 3	10 .110	2 6	18	46
0 179	0	0 0	0 0	0	0
0 180	LDM 9	1101 1001	13 9	217	331
0 181	XCH 1	1011 .1	11 .1	177	261
0 182	JMS .1	101 .1	5 1	81	121
0 183	105	110 1001	6 9	105	151
0 184	LDR 15	1010 1111	10 15	175	257
0 185	JMS 1	101 .1	5 1	81	121
0 186	.242	1111 .10	15 2	242	362
0 187	LDR 14	1010 1110	10 14	174	256
0 188	JMS 1	101 .1	5 1	81	121
0 189	.246	1111 .10	15 6	246	366
0 190	JCH CY#0	1 .10	1 2	18	22
0 191	255	.1111 1111	15 15	255	377

Tabla 1-c

HOJA 4						
LINER NO.	MNEMONIC	OPR.	OPA.	HCD.	DECIMAL	OCTAL
0 192	LDM 11	1101	1011	13 11	219	333
0 193	XCH 1	1011	1	11 1	177	261
0 194	JMS 1	101	1	5 1	81	121
0 195	105	110	1004	6 9	105	151
0 196	CLC	1111	1	15 1	241	361
0 197	LDR 15	1010	1111	10 15	175	257
0 198	SUB 6	1001	110	9 6	150	226
0 199	CMC	1111	11	15 3	243	363
0 200	LDR 14	1010	1110	10 14	174	256
0 201	SUB 5	1001	101	9 5	149	225
0 202	JCN CY=0	1	1010	1 10	26	32
0 203	255	1111	1111	15 15	255	377
0 204	FIM 4	10	1000	2 8	46	56
0 205	0	0	0	0 0	0	0
0 206	SRQ 4	10	1001	2 9	41	51
0 207	LDR 6	1010	110	10 6	166	246
0 208	WRR	1110	10	14 2	226	342
0 209	INC 8	110	1000	6 8	104	150
0 210	SRC 4	10	1001	2 9	41	51
0 211	LDR 5	1010	101	10 5	165	245
0 212	WRR	1110	10	14 2	226	342
0 213	LDM 3	1101	11	13 3	211	323
0 214	XCH 1	1011	1	11 1	177	261
0 215	SRC 0	10	1	2 1	83	41
0 216	JMS 1	101	1	5 1	81	121
0 217	101	110	101	6 5	161	145
0 218	JMS 1	101	1	5 1	81	121
0 219	89	101	1001	5 9	89	131
0 220	JCN CY#0	1	10	1 8	18	22
0 221	230	1110	110	14 6	230	346
0 222	JMS 1	101	1	5 1	81	121
0 223	64	100	0	4 0	64	100
0 224	ISZ 15	111	1111	7 15	127	177
0 225	222	1101	1110	13 14	222	336
0 226	ISZ 14	111	1110	7 14	126	176
0 227	222	1101	1110	13 14	222	336
0 228	ISZ 13	111	1101	7 13	125	175
0 229	222	1101	1110	13 14	222	336
0 230	FIM 4	10	1000	2 8	40	50
0 231	64	100	0	4 0	64	100
0 232	SRC 4	10	1001	2 9	41	51
0 233	LDR 11	1010	1011	10 11	171	253
0 234	WMP	1110	1	14 1	225	341
0 235	LDM 0	1101	0	13 0	208	320
0 236	XCH 1	1011	1	11 1	177	261
0 237	JMS 1	101	1	5 1	81	121
0 238	101	110	101	6 5	161	145
0 239	JMS 1	101	1	5 1	81	121
0 240	89	101	1001	5 9	89	131
0 241	JCN CY#0	1	10	1 8	18	22
0 242	251	1111	1011	15 11	251	373
0 243	JMS 1	101	1	5 1	81	121
0 244	64	100	0	4 0	64	100
0 245	ISZ 15	111	1111	7 15	127	177
0 246	243	1111	11	15 3	243	363
0 247	ISZ 14	111	1110	7 14	126	176
0 248	243	1111	11	15 3	243	363
0 249	ISZ 13	1111	1101	7 13	125	175
0 250	243	1111	11	15 3	243	363
0 251	JUN 1	100	1	4 1	65	101
0 252	4	0	100	0 4	4	4
0 253	HOP	0	0	0 0	0	0
0 254	HOP	0	0	0 0	0	0
0 255	HOP	0	0	0 0	0	0

Tabla 1-d

HOJA. 5						
LINEA NO.	MNEMONIC	OPR. OPR.	HCD.	DECIMAL	OCTAL	
1 0	JUN 1	100 1	4 1	65	101	
1 1	11	0 1011	0 11	11	13	
1 2	NOP	0 0	0 0	0	0	
1 3	NOP	0 0	0 0	0	0	
1 4	LDM 0	1101 0	13 0	208	320	
1 5	FIM 4	10 1000	2 8	40	50	
1 6	64	100 0	4 0	64	100	
1 7	SRC 4	10 1001	2 9	41	51	
1 8	WMP	1110 1	14 1	225	341	
1 9	JUN 0	100 0	4 0	64	100	
1 10	180	1011 100	11 4	100	264	
1 11	LDR 4	1010 100	10 4	164	244	
1 12	DAC	1111 1000	15 0	248	370	
1 13	XCH 4	1011 100	11 4	180	264	
1 14	JCN CY#0	1 10	1 1	18	22	
1 15	26	1 1010	1 10	28	32	
1 16	LDR .3	1010 11	10 3	163	243	
1 17	DAC	1111 1000	15 0	248	370	
1 18	XCH .3	1011 11	11 3	179	263	
1 19	JCN CY#0	1 10	1 1	18	22	
1 20	26	1 1010	1 10	28	32	
1 21	LDR 2	1010 .10	10 0	162	242	
1 22	DAC	1111 1000	15 0	248	370	
1 23	XCH 2	1011 10	11 0	178	262	
1 24	JCN CY=0	1 1010	1 10	28	32	
1 25	28	1 1100	1 12	28	34	
1 26	JUN 0	100 0	4 0	64	100	
1 27	176	1011 0	11 0	176	260	
1 28	SRC 0	10 1	2 1	33	41	
1 29	INC 0	110 0	5 0	98	140	
1 30	RDO	1110 1100	14 12	236	354	
1 31	CLC	1111 1	15 1	241	361	
1 32	SUB 0	1001 0	15 0	144	220	
1 33	JCN AC#0	1 1100	1 12	28	34	
1 34	39	10 111	2 7	39	47	
1 35	JCN TS=0	1 1	1 1	17	21	
1 36	35	10 11	2 3	35	43	
1 37	JUN 0	100 0	4 0	64	100	
1 38	42	10 1010	2 10	42	52	
1 39	JCN TS=0	1 .1	1 1	17	21	
1 40	39	10 111	2 7	39	47	
1 41	JUN 0	100 0	4 0	64	100	
1 42	44	10 1100	2 12	44	54	
1 43	LDM 5	1101 110	13 6	214	326	
1 44	XCH .1	1011 .1	11 1	177	261	
1 45	JMS .1	101 1	5 1	81	121	
1 46	101.	110 101	6 5	101	145	
1 47	JMS 1	101 1	5 1	81	121	
1 48	89	101 1001	5 9	69	131	
1 49	FIM 1	10 10	4 2	34	42	
1 50	6	0. 110	0 6	6	6	
1 51	JMS 1	101 1	5 1	81	121	
1 52	64	100 0	4 0	64	100	
1 53	182 3	111 11	7 3	115	163	
1 54	51	11 11	8 3	51	63	
1 55	182 15	111 1111	7 15	127	177	
1 56	.49	11 .1	3 1	49	61	
1 57	182 14	111 1110	7 14	126	176	
1 58	.49	11 .1	3 1	49	61	
1 59	182 13	111 1101	7 13	125	175	
1 60	.49	.11 1	3 1	49	61	
1 61	JUN 1	100 1	4 1	65	101	
1 62	28	1 1100	1 12	28	34	
1 63	NOP	0 0	0 0	0	0	

Taba 1-e

HOJA 6

LINEA	NO.	MNEMONIC	OPR.	OPA.	HCD.	DECIMAL.	OCTAL
1	64	FIM	4	10	1000	.2	40
1	65	215		1101	111	13	215
1	66	ISZ	9	111	1001	7	121
1	67	66		100	10	4	66
1	68	ISZ	8	111	1000	7	120
1	69	66		100	10	4	66
1	70	BBL	0	1100	0	12	192
1	71	RAR		1111	110	15	246
1	72	RAR		1111	110	15	246
1	73	RAR		1111	110	15	246
1	74	RAR		1111	110	15	246
1	75	FIM	1	10	10	.2	42
1	76	64		100	0	4	64
1	77	SRC	1	10	11	2	35
1	78	LDM	4	1101	100	13	212
1	79	XCH	1	1011	1	11	177
1	80	LDM	0	1101	0	13	208
1	81	WMP		1110	1	14	225
1	82	NOP		0	0	0	0
1	83	RAR		1111	110	15	246
1	84	ADD	10	1000	1010	8	138
1	85	WMP		1110	1	14	225
1	86	LDM	0	1101	0	13	208
1	87	WMP		1110	1	14	225
1	88	BBL	0	1100	0	12	192
1	89	CLB		1111	0	15	240
1	90	SUB	15	1001	1111	9	159
1	91	XCH	15	1011	1111	11	191
1	92	CMC		1111	11	15	243
1	93	LDM	0	1101	0	13	208
1	94	SUB	14	1001	1110	9	158
1	95	XCH	14	1011	1110	11	199
1	96	CMC		1111	11	15	243
1	97	LDM	0	1101	0	13	208
1	98	SUB	13	1001	1101	9	157
1	99	XCH	13	1011	1101	11	189
1	100	BBL	0	1100	0	12	192
1	101	SRC	0	10	1	2	33
1	102	RDM		1110	1001	14	233
1	103	XCH	13	1011	1101	11	189
1	104	INC	1	110	1	6	97
1	105	SRC	0	10	1	2	33
1	106	RDM		1110	1001	14	233
1	107	XCH	14	1011	1110	11	190
1	108	INC	1	110	1	6	97
1	109	SRC	0	10	1	2	33
1	110	RDM		1110	1001	14	233
1	111	XCH	15	1011	1111	11	191
1	112	LDR	15	1010	1111	10	175
1	113	CLC		1111	1	15	241
1	114	ADD	14	1000	1110	8	142
1	115	NOP		0	0	0	0
1	116	XCH	12	1011	1100	11	188
1	117	BBL	0	1100	0	12	192
1	118	SRC	3	10	111	2	39
1	119	LDR	4	1010	100	10	164
1	120	WMP		1110	1	14	225
1	121	ISZ	5	111	101	7	117
1	122	121		111	1001	7	121
1	123	ISZ	8	111	1000	7	120
1	124	121		111	1001	7	121
1	125	NOP		0	0	0	0
1	126	NOP		0	0	0	0
1	127	NOP		0	0	0	0

Tabla 1-f

LINEA NO.	MNEMONIC	OPR, OPA.		HCD.	DECIMAL	OCTAL
		OPR	OPA			
1 128	NOP	0	0	0 0	0	0
1 129	ISZ 15	111 1111		7 15	127	177
1 130	133	1000 101		8 5	133	205
1 131	LDM 4	1101 100		13 4	212	324
1 132	XCH 4	1011 100		11 4	188	264
1 133	CLC	1111 1		15 1	241	361
1 134	LDR 15	1010 1111		10 15	175	257
1 135	SRC 4	10 1001		2 9	41	51
1 136	WMP	1110 1		14 1	225	341
1 137	SRC 3	10 111		2 7	39	47
1 138	LDM 8	1101 1000		10 8	216	330
1 139	ADD 4	1000 100		8 4	132	204
1 140	WMP	1110 1		14 1	225	341
1 141	JCN TS=0	1 1		1 1	17	21
1 142	141	1000 1101		8 13	141	215
1 143	BBL 0	1100 0		12 0	192	300
1 144	NOP	0 0		0 0	0	0
1 145	JMS 1	101 1		5 1	81	121
1 146	118	111 110		7 6	118	166
1 147	RDR	1110 1010		14 10	234	352
1 148	XCH 10	1011 1010		11 10	186	272
1 149	JMS 1	101 1		5 1	81	121
1 150	118	111 110		7 6	118	166
1 151	RDR	1110 1010		14 10	234	352
1 152	XCH 11	1011 1011		11 11	187	273
1 153	JMS 1	101 1		5 1	81	121
1 154	118	111 110		7 6	118	166
1 155	RDR	1110 1010		14 10	234	352
1 156	XCH 12	1011 1100		11 12	188	274
1 157	JMS 1	101 1		5 1	81	121
1 158	118	111 110		7 6	118	166
1 159	RDR	1110 1010		14 10	234	352
1 160	XCH 13	1011 1101		11 13	189	275
1 161	CLB	1111 0		15 0	240	360
1 162	ADD 4	1000 100		8 4	132	204
1 163	WMP	1110 1		14 1	225	341
1 164	LDR 15	1010 1111		10 15	175	257
1 165	INC 14	110 1110		6 14	118	156
1 166	SUB 14	1001 1110		9 14	158	236
1 167	CLC	1111 1		15 1	241	361
1 168	SUB 2	1001 10		9 2	146	222
1 169	XCH 1	1011 1		11 1	177	261
1 170	LDM 0	1101 0		13 0	208	320
1 171	XCH 5	1011 101		11 5	181	265
1 172	FIM 3	10 110		2 6	38	46
1 173	0	0 0		0 0	0	0
1 174	LDR 13	1010 1101		10 13	173	255
1 175	XCH 7	1011 111		11 7	183	267
1 176	LDR 12	1010 1000		10 12	172	254
1 177	DAC	1111 1000		15 8	248	370
1 178	XCH 12	1011 1000		11 12	188	274
1 179	JCN CY=0	1 1010		1 10	26	32
1 180	186	1011 1010		11 10	186	272
1 181	LDM 10	1101 1010		13 10	218	332
1 182	JMS 1	101 1		5 1	81	121
1 183	.238	1110 1110		14 14	238	356
1 184	JUN 1	100 1		4 1	65	101
1 185	176	1011 0		11 0	176	260
1 186	LDR 11	1010 1011		10 11	171	253
1 187	DAC	1111 1000		15 8	248	370
1 188	XCH 11	1011 1011		11 11	187	273
1 189	JCN CY=0	1 1010		1 10	26	32
1 190	199	1100 111		12 7	199	307
1 191	-LDM 4	1101 100		13 4	212	324

Tabla 1-g

LINER- NO..		MNEMONIC	OPR.	OPR.	HCD,	DECIMAL	OCTAL
1	192	JMS	1	101	1	5	1
1	193	238	1110	1110	14	14	238
1	194	LDM	6	1101	110	13	6
1	195	JMS	1	101	1	5	1
1	196	242	1111	10	15	2	242
1	197	JUN	1	100	1	4	1
1	198	186	1011	1010	11	10	186
1	199	LDR	10	1010	1010	10	10
1	200	DAC	..	1111	1000	15	8
1	201	XCH	10	1011	1010	11	10
1	202	JCN	CY=0	1	1010	1	10
1	203	215	1101	111	13	7	215
1	204	LDM	8	1101	1000	13	8
1	205	JMS	1	101	1	5	1
1	206	238	1110	1110	14	14	238
1	207	LDM	14	1101	1110	13	14
1	208	JMS	1	101	1	5	1
1	209	242	1111	10	15	2	242
1	210	LDM	3	1101	11	13	3
1	211	JMS	1	101	1	5	1
1	212	246	1111	110	15	6	246
1	213	JUN	1	100	1	4	1
1	214	199	1100	111	12	7	199
1	215	LDR	2	1010	10	10	2
1	216	RAR	..	1111	110	15	6
1	217	JCN	CY=0	1	1010	1	10
1	218	225	1110	1	14	1	225
1	219	SRC	0	10	1	2	1
1	220	LDR	5	1010	101	10	5
1	221	WRM	..	1110	0	14	0
1	222	LDM	0	1101	0	13	0
1	223	XCH	5	1011	.101	11	5
1	224	INC	1	110	1	6	1
1	225	SRC	0	10	1	2	1
1	226	LDR	5.	1010	101	10	5
1	227	JCN	AC=0	1	100	1	4
1	228	231	1110	111	14	7	231
1	229	FIM	3	10	110	2	38
1	230	255	1111	1111	15	15	255
1	231	LDR	6	1010	110	10	6
1	232	WRM	..	1110	0	14	0
1	233	INC	1	110	1	6	1
1	234	SRC	0	10	1	2	1
1	235	LDR	7	1010	111	10	2
1	236	WRM	..	1110	0	14	0
1	237	BBL	0	1100	0	12	0
1	238	CLC	..	1111	1	15	1
1	239	ADD	7	1000	111	8	7
1	240	XCH	7	1011	111	11	7
1	241	TCC	..	1111	111	15	7
1	242	CLC	..	1111	1	15	1
1	243	ADD	6	1000	110	8	6
1	244	XCH	6	1011	110	11	6
1	245	TCC	..	1111	111	15	7
1	246	CLC	..	1111	1	15	1
1	247	ADD	5	1000	101	8	5
1	248	XCH	5	1011	101	11	1
1	249	JCN	CY=0	1	1010	1	10
1	250	255	1111	1111	15	15	255
1	251	FIM	3	10	110	2	38
1	252	255	1111	1111	15	15	255
1	253	LDM	15	1101	1111	13	15
1	254	XCH	5	1011	101	11	5
1	255	BBL	0	1100	0	12	0

Tabla 1-h

CONSIDERACIONES FINALES

Vamos a tratar de ver brevemente el campo de aplicación de este dispositivo.

El margen de amplitudes tal y como se ha previsto se adapta a las condiciones de la estimulación nerviosa propiamente dicha, salvo casos excepcionales como pudieran ser la defibrilación ventricular en que se estimula con valores de tensión y formas de onda relativamente irregulares (no rectangulares ni triangulares) o el marcapasos cardíaco extracorpóreo que utiliza valores de intensidad de 100 a 200 mA. (lo que limita su tiempo de aplicación, etc.

En cualquiera de los casos, si tenemos en cuenta que un potencial de estimulación del orden de 0.1 V por célula es suficiente para producir depolarización, se comprenderá la influencia de la forma y características de los electrodos.

El margen de tiempos es muy amplio como corresponde a las posibilidades de un sistema digital de cierta complejidad y altamente estable debido a que el generador de las dos fases de reloj de micropotenciador está estabilizado por un cristal de cuarzo que impide variaciones de frecuencia más allá del 0.0002 por mil.

Parámetros como umbral de excitabilidad, tiempo útil, reobase, cronicidad, etc., que dan una idea de la respuesta a la estimulación en el tiempo de una determinada fibra pueden obtenerse de la respuesta a una estimulación efectuada por 1 sólo pulso procedente de este sistema.

Mediante trenes de dos pulsos suficientemente separados, la medida del período refractario se simplifica notablemente.

Si lo que se desea es simplemente la estimulación de un nervio, la generación de cualquier combinación de trenes regulares de impulsos, controlando la separación entre ellos, es posible siempre que no exceda la capacidad de memoria del sistema, en cuyo caso podría ser ampliada con sólo unas pequeñas modificaciones en el programa.

El uso de pendiente puele resultar útil, a la hora de determinar la capacidad de adaptación a una estimulación.

Hay algunas aplicaciones muy útiles que nuestro tema central, sin embargo y puesto que las puertas de salida son de 4 bits no sería muy difícil reorganizar el programa para conseguir 4 canales de estimulación simultáneos. Lo que sí resultaría imposible es sincronizar la estimulación con alguna señal exterior.

Finalmente, y ello resultaría muy interesante, tampoco hemos previsto la posibilidad de que el sistema tome medidas a través de algún terminal y controle la estimulación en el sentido de ajustar esas medidas a un determinado patrón, ello implicaría un sistema de mucha mayor complejidad y posible objeto de un nuevo trabajo en este área.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) "Generador de impulsos de intensidad y trenes de impulsos de intensidad con modulación varia para electromedicina". A. Civit, E. Castelló, B. Mahadero Balsera, M. García Gea.—Anales de la Universidad Hispalense. Ciencias, Vol. 25.
- 2) "Pain suppression by transcutaneous Electronic Simulation". C. Buton, D. D. Maurer".—IEEE Transactions on Biomedical Engineering. Marzo 1974.
- 3) "A New Automatic Constant Current Stimulation an its Biological Applications". G. Silverman, G. G. Ball, C. K. Cohn.—IEEE Transactions on Biomedical Engineering. Mayo 1975. Vol. BME-22, n.º 3.
- 4) "A Digitally Controled Stimulation for Neurophysiological Applications". B. S. Bong, C. L. Baker, D. D. Long.—IEEE Transactions on Biomedical Engineering. Enero 1976. Vol. BME-23, n.º 1.
- 5) "The Physiology of excitable Cells". D. J. Aidley.—Cambridge University Press. 1971.
- 6) "MCS-4 Microcomputer Set Usr's Manuel".—Intel Corporation 1974.
- 7) "Microprocesadores y Microcomputadores". Varios autores.—Marcambo 1976.
- 8) "Circuitos Integrados Lineales". H. Lilen.—Marcombo, 1975.
- 8) "Concepción, diseño y realización de un Microordenador para operar con señales analógicas". A. Prieto Espinosa.—Tesis Doctoral (Granada). Abril 1976.
- 9) "Microprocessors.—Where they fit in". Fred F. Coury.—New Components and Subsystems for Digital Technology Service. Corporation, 1975.
- 10) "Integrated Microprocessors". Morton H. Lewin.—IEEE Transactions on Circuits and Systems. Julio 1975, Vol. CAS, n.º 7.
- 11) "The Role Technology In Microcomputer Design and Evolution". Federico Faggin.—IEEE Circuits and Systems. Febrero 1975, Vol. 7, n.º 5.
- 12) "Microprocessors: The Next Generation in Digital Design". G. Reyhing Jr.—EE/Systems Engineering Today. Noviembre 1973, Vol. 32, n.º 11.
- 13) "The Anatomy of a Microcomputer". H. Smith.—EE/Systems Engineering Today. Noviembre 1973, Vol. 32, n.º 11.
- 14) "Designing a Microprocessors Based System". R. E. Jackson.—EE/Systems Engineering Today. Diciembre 1973, Vol. 32, n.º 12.
- 15) "Designing with Microprocessors Instead of Wired Logic Ask More of Designers". B. Gleadstone.—Electronics. Octubre 1973, Vol. 46, n.º 21.

ENSAMBLADOR-GRABADOR PARA EL SISTEMA MCS-4

por

SALVADOR BRACHO
Moisés GUTIÉRREZ

INTRODUCCIÓN

Los microprocesadores actualmente reducen el tiempo de construcción de un sistema de cálculo o un sistema de control digital, si bien es cierto que multiplican el tiempo de diseño de programas. No es extraño ver proyectos realizados en torno a un microprocesador de 30 dólares y que han necesitado inversiones de hasta 70.000 dólares en software.

Actualmente el software puede considerarse como una disciplina primitiva en comparación con el resto de los campos de la ingeniería de computadores, y se halla por tanto en pleno desarrollo.

Dado que el costo de los sistemas desarrollados con microprocesadores son siempre inferiores a los costos de diseño del programa, corrección de errores y comprobación así como el tiempo que es preciso emplear en cada faceta del diseño, es evidente que el procedimiento de diseño depende exclusivamente de la elección de la técnica de programación y de comprobación de errores.

Aparte de la posibilidad de escribir los programas en lenguaje máquina, los distintos tipos de microprocesadores, pueden desarrollarse con una amplia variedad de programa de ayuda al diseño, algunos de los cuales detallaremos brevemente.

— Los ensambladores son programas destinados a utilizar un lenguaje simbólico de modo que a cada instrucción máquina corresponde una del lenguaje simbólico. Este tipo de programas permite al usuario utilizar nombres simbólicos, más fáciles de recordar sobre todo cuando se lleva algún tiempo manejándolos, no sólo para cada uno de los códigos de operación del procesador sino también para las direcciones de datos y de ramificación o de salto, así como permite incluir comentarios y referencias en el listado del programa.

Estos programas pueden estar pensados bien para un ordenador con un lenguaje de alto nivel (ensamblador cruzado) o bien para un microcomputador basado en el propio microprocesador (ensamblador residen-

te) previsto ya para contener toda una serie de ayudas además del ensamblador.

Existen también macroensambladores en los que una instrucción puede contener varias instrucciones del lenguaje máquina.

- Los compiladores que precisan de un ordenador de considerable capacidad, y que trasladan un programa de alto nivel a lenguaje máquina.
- Entre las ventajas destacables del uso de estos programas podemos citar que permitan al programador recordar fácilmente las instrucciones y la imposibilidad de cometer errores sintácticos debido al sistema de detección de errores.
- Los editores permiten almacenar un programa fuente escrito en simbólico o alto nivel, en una unidad de memoria auxiliar del ordenador como discos o cintas magnéticas, así como hacer correcciones sobre el programa.
- Los simuladores se utilizan como su propio nombre indica para analizar el programa objeto, simulando la acción del microcomputador sin construir el sistema.

A la vista de las ayudas que ofrece el mercado, teniendo en cuenta la escasa flexibilidad y los costos de los sistemas que ofrecen los fabricantes de microprocesadores y puestos que disponemos en nuestros laboratorios de un sistema grabador de PROM controlado por una calculadora digital de propósito general HP-9830, decidimos crear un programa ensamblador-editor-grabador que nos permitiera elaborar los programas en lenguaje simbólico, así como reducir al mínimo las posibilidades de error, para el microprocesador Intel 4004.

CONCEPCIÓN DEL ENSAMBLADOR-EDITOR-GRABADOR

La idea principal que presidió la concepción de este programa fue la de evitar en la medida de lo posible la introducción de errores sintácticos.

Con tal motivo pensamos que la forma más segura, en lo que se refiere a la identificación de los símbolos sería disponer de una lista de símbolos de todas las instrucciones e identificarlos por comparación directa. Por otra parte, puede observarse en la tabla I donde se indican los símbolos empleados por el lenguaje nemónico del microprocesador Intel 4004, como la totalidad de los símbolos propuestos tienen una longitud de 3 letras excepto uno que tiene 2, por lo cual decidimos añadir una letra más a éste, para simplificar la programación.

En cuanto a la utilización de símbolos para las direcciones de datos, y dada la compleja estructura de direccionamiento de los mismos desde el programa que incorpora este sistema, nos ha parecido conveniente prescindir de ella y ensamblar instrucción por instrucción.

De momento tampoco se ha previsto la utilización de símbolos para direcciones de ramificación ni de salto.

Se ha realizado el ensamblado de cada instrucción inmediatamente, con

MCS-4™ Instruction Set

[Those instructions preceded by an asterisk (*) are 2 word instructions that occupy 2 successive locations in ROM.]
MACHINE INSTRUCTIONS

MNEMONIC	OPR D ₃ D ₂ D ₁ D ₀	OPA D ₃ D ₂ D ₁ D ₀	DESCRIPTION OF OPERATION
NOP	0 0 0 0	0 0 0 0	No operation.
*JCN	0 0 0 1 A ₂ A ₂ A ₂ A ₂	C ₁ C ₂ C ₃ C ₄ A ₁ A ₁ A ₁ A ₁	Jump to ROM address A ₃ , A ₂ , A ₂ , A ₂ , A ₁ A ₁ A ₁ (within the same ROM that contains this JCN instruction) if condition C ₁ , C ₂ , C ₃ , C ₄ ⁽¹⁾ is true; otherwise skip to the next instruction in sequence.
*FIM	0 0 1 0 O ₂ D ₂ D ₂ D ₂	R R R O D ₃ D ₂ D ₁ D ₁	Fetch immediate (direct) from ROM Data D ₂ , D ₁ to index register pair location RRRR (2).
SRC	0 0 1 0	R R R I	Send register control; Send the address (contents of index register pair RRRR) to ROM and RAM at X ₂ and X ₃ time in the Instruction Cycle.
FIN	0 0 1 1	R R R O	Fetch indirect from ROM. Send contents of index register pair location O out as an address. Data fetched is placed into register pair location RRRR.
JIN	0 0 1 1 A ₂ A ₂ A ₂ A ₂	R R R I	Jump indirect. Send contents of register pair RRRR out as an address at A ₁ and A ₂ time in the Instruction Cycle.
*JUN	0 1 0 0 A ₂ A ₂ A ₂ A ₂	A ₃ A ₃ A ₃ A ₃ A ₁ A ₁ A ₁ A ₁	Jump unconditional to ROM address A ₃ , A ₂ , A ₁ .
*JMS	0 1 0 1 A ₂ A ₂ A ₂ A ₂	A ₃ A ₃ A ₃ A ₃ A ₁ A ₁ A ₁ A ₁	Jump to subroutine ROM address A ₃ , A ₂ , A ₁ , save old address. (Up 1 level in stack.)
INC	0 1 1 0	R R R R	Increment contents of register RRRR. (3)
*IBZ	0 1 1 1 A ₂ A ₂ A ₂ A ₂	R R R R A ₁ A ₁ A ₁ A ₁	Increment contents of register RRRR. Go to ROM address A ₂ , A ₁ (within the same ROM that contains this ISZ instruction) if result #0, otherwise skip (go to the next instruction in sequence).
ADD	1 0 0 0	R R R R	Add contents of register RRRR to accumulator with carry.
SUB	1 0 0 1	R R R R	Subtract contents of register RRRR to accumulator with borrow.
LD	1 0 1 0	R R R R	Load contents of register RRRR to accumulator.
XCH	1 0 1 1	R R R R	Exchange contents of index register RRRR and accumulator.
BBL	1 1 0 0	D D D D	Branch back (down 1 level in stack) and load data DDDD to accumulator.
LDM	1 1 0 1	D D D D	Load data DDDD to accumulator.

INPUT/OUTPUT AND RAM INSTRUCTIONS

[The RAM's and ROM's operated on the I/O and RAM instructions have been previously selected by the last SRC instruction executed.]

MNEMONIC	OPR D ₃ D ₂ D ₁ D ₀	OPA D ₃ D ₂ D ₁ D ₀	DESCRIPTION OF OPERATION
WRM	1 1 1 0	0 0 0 0	Write the contents of the accumulator into the previously selected RAM main memory character.
WMP	1 1 1 0	0 0 0 1	Write the contents of the accumulator into the previously selected RAM output port. (Output Lines)
WRR	1 1 1 0	0 0 1 0	Write the contents of the accumulator into the previously selected RAM status character.
WPM	1 1 1 0	0 0 1 1	Write the contents of the accumulator into the previously selected half byte of read/write program memory (for use with 4008/4009 only).
WR ₀ ⁽⁴⁾	1 1 1 0	0 1 0 0	Write the contents of the accumulator into the previously selected RAM status character 0.
WR ₁ ⁽⁴⁾	1 1 1 0	0 1 0 1	Write the contents of the accumulator into the previously selected RAM status character 1.
WR ₂ ⁽⁴⁾	1 1 1 0	0 1 1 0	Write the contents of the accumulator into the previously selected RAM status character 2.
WR ₃ ⁽⁴⁾	1 1 1 0	0 1 1 1	Write the contents of the accumulator into the previously selected RAM status character 3.
SBM	1 1 1 0	1 0 0 0	Subtract the previously selected RAM main memory character from accumulator with borrow.
RDM	1 1 1 0	1 0 0 1	Read the previously selected RAM main memory character.
RDR	1 1 1 0	1 0 1 0	Read and add contents of the previously selected ROM input port into the accumulator. (I/O Lines)
ADM	1 1 1 0	1 0 1 1	Add the previously selected RAM main memory character to accumulator with carry.
RDG ⁽⁴⁾	1 1 1 0	1 1 0 0	Read the previously selected RAM status character 0 into accumulator.
RD1 ⁽⁴⁾	1 1 1 0	1 1 0 1	Read the previously selected RAM status character 1 into accumulator.
RD2 ⁽⁴⁾	1 1 1 0	1 1 1 0	Read the previously selected RAM status character 2 into accumulator.
RD3 ⁽⁴⁾	1 1 1 0	1 1 1 1	Read the previously selected RAM status character 3 into accumulator.

ACCUMULATOR GROUP INSTRUCTIONS

CLB	1 1 1 1	0 0 0 0	Clear both; (Accumulator and carry)
* CLC	1 1 1 1	0 0 0 1	Clear carry.
IAC	1 1 1 1	0 0 1 0	Increment accumulator.
CMC	1 1 1 1	0 0 1 1	Complement carry.
CMA	1 1 1 1	0 1 0 0	Complement accumulator.
RAL	1 1 1 1	0 1 0 1	Rotate left; (Accumulator and carry)
RAR	1 1 1 1	0 1 1 0	Rotate right; (Accumulator and carry)
TCC	1 1 1 1	0 1 1 1	Transmit carry to accumulator and clear carry.
DAC	1 1 1 1	1 0 0 0	Decrement accumulator.
TCS	1 1 1 1	1 0 0 1	Transfer carry subtract and clear carry.
STC	1 1 1 1	1 0 1 0	Set carry.
DAA	1 1 1 1	1 0 1 1	Decimal adjust accumulator.
KBP	1 1 1 1	1 1 0 0	Keyboard process. Converts the contents of the accumulator from a one out of four code to a binary code.
DCL	1 1 1 1	1 1 0 1	Delimiter command line.

NOTES: ⁽¹⁾The condition code is assigned as follows:

C₁ + 1 Invert jump condition C₂ + 1 Jump if accumulator is zero C₄ + 1 Jump if test signal is a 0
C₂ * 0 Not invert jump condition C₃ + 1 Jump if carry/borrow is a 1

⁽²⁾RRR is the address of 1 of 8 index register pairs in the CPU.

⁽³⁾RRR is the address of 1 of 16 index registers in the CPU.

⁽⁴⁾Each RAM chip has 4 registers, each with twenty 4-bit characters subdivided into 16 main memory characters and 4 status characters. Chip number, RAM register and main memory character are addressed by an SRC instruction. For the selected chip and register, however, status character locations are selected by the instruction code (OPA).



Tabla I

objeto de dejar la mayor cantidad posible de memoria disponible, lo que permite además la detección inmediata de errores. Se trata por tanto de un programa conversacional en que el ordenador requiere del operador una instrucción, y una vez introducida la procesa y pasa a preguntar la siguiente.

Se ha previsto por tanto, a la hora de efectuar el ensamblado, la introducción de un nemónico y cuando la instrucción lo requiera un número decimal correspondiente al OPA de dicha instrucción así como un número decimal para la segunda línea de las instrucciones dobles, dado que 4 de ellas son direcciones y sólo una contiene datos. Se ha establecido también para estas instrucciones un sistema de detección de excesos según la instrucción que corresponda, de modo que la calculadora rechaza toda instrucción sintácticamente incorrecta indicando el tipo de error que se haya cometido.

Como puede verse, el programa maneja las instrucciones del 4004 según la estructura que contiene el lenguaje máquina.

Conforme se va introduciendo el programa simbólico la calculadora va efectuando un listado en impresora con la instrucción simbólica y la instrucción del lenguaje máquina (binario) así como otros sistemas de numeración que pueden facilitar el proceso de comprobación del sistema una vez montado. Está previsto que efectúe el listado en hojas tamaño folio de modo que cada folio contiene 64 líneas, así como una vez que se han llenado 256 líneas, es decir, una página (PROM) completa de memoria de programa, indica que deben almacenarse en la cinta para empezar desde el principio si se desea grabar una nueva PROM. Se trata por lo tanto de un ensamblado página a página de manera que sólo 256 líneas de programa están directamente disponibles en la memoria del ordenador, mientras que el resto hasta 4096 se hallan en cinta.

La cinta se ha estructurado de modo que caben 16 páginas completas de datos de 256 líneas cada una, y su especificación resulte fácil y efectiva.

El programa en sus diferentes partes está almacenado en las llaves de funciones especiales que pueden asimilarse a subrutinas que en el caso particular de la calculadora HP-9830, son accesibles, bien por programa o bien desde el teclado de consola, de modo que es posible el empleo de las mismas con una gran flexibilidad. La calculadora HP-9830 dispone de un total de 20 llaves en la consola, accesibles mediante 10 teclas numeradas de "0" al "9" que dan acceso directo a 10 de estas llaves, a las otras 10 se accede mediante estas mismas 10 teclas pero pulsando simultáneamente la tecla de mayúsculas que contiene la indicación "SHIFT", estas 10 llaves las hemos marcado de «0» al «9» y de ellas sólo ha quedado sin utilizar la última, el resto contienen funciones auxiliares que debemos utilizar varias veces en los programas propiamente dichos a modo de subrutinas.

La secuencia de trabajo de un editor-ensamblador es generalmente como sigue: una vez puesto en marcha el ordenador, se cargan desde la unidad de memoria periférica que los contenga, los programas editor y ensamblador, se pone en marcha entonces el editor que capacita al ordenador para recibir caracteres alfanuméricos, codificados en ASCII, por ejemplo. Mediante este programa se introducen las instrucciones en el lenguaje simbólico previsto por la estructura del ensamblador correspondiente al microprocesador que se vaya a utilizar.

Una vez introducidas todas las instrucciones que se deseé, ya tenemos lo que se llama el programa fuente, que como tal no es asimilable por el microprocesador.

Se almacena entonces el programa fuente en una unidad periférica de memoria de almacenamiento masivo como por ejemplo un disco o una cinta magnética, bien sea en una sola vez, bien en varias, si la memoria central del ordenador no fuera capaz de almacenar todo el programa fuente, haciendo correr a continuación el ensamblador, al que debe darse la posición en que se halla el programa fuente, procedimiento entonces al ensamblado del que se obtiene ya el programa objeto asimilable por el microprocesador, así como un listado de los errores cometidos.

Como puede verse esto obliga a disponer de una gran cantidad de memoria que puede reducirse evitando el almacenamiento del programa fuente.

Como quiera que la posibilidad de corregir el programa debe darse, si suprimimos el programa fuente, es obligado disponer de un programa que permita interpretar las instrucciones máquina del programa objeto en lenguaje simbólico como si se tratara del programa fuente. Así pues el grueso del programa lo constituyen el ensamblador y el ensamblador inverso o programa de listado los cuales a su vez se apoyan en las subrutinas que contienen las funciones auxiliares mencionadas anteriormente y que describiremos más adelante.

El programa ensamblador propiamente dicho puede ser llamado desde la llave 7, su listado puede verse en las tablas VII y VIII y el diagrama de bloques correspondiente en la figura 1 (a, b y c).

El programa se inicia preguntando por la primera línea I1 que se desea ensamblar. Una vez introducido este dato, se comprueba si esta línea ya ha sido introducida previamente; en caso afirmativo comprueba si es la segunda línea de una instrucción doble, en cuyo caso va a la línea anterior (I1=I1-1) y si no comienza normalmente por la línea indicada I1, si no ha sido introducida previamente graba un NOP en todas las líneas desde la siguiente a la última introducida (V3=999) hasta la anterior a la primera a ensamblar I1-1. Acto seguido comprueba si se ha cambiado de hoja (L#V0) en cuyo caso describe el encabezado para los listados que correspondan a esa hoja L y si no, deja dos espacios en blanco para indicar que se ha empezado de nuevo aunque sin cambiar de hoja V0 y a partir de este momento comienza el tratamiento del lenguaje MCS-4 propiamente dicho.

La primera operación consiste en comprobar si en la hoja anterior, la última línea era la primera de una instrucción doble (M0=1) que queda por tanto a caballo entre dos hojas, en cuyo caso y antes que nada se proceda a escribir la segunda línea que queda en la hoja en curso, en caso contrario el programa se dirige al ensamblado propiamente dicho.

En primer lugar se introduce manualmente y como respuesta a un INPUT, el mnemónico A\$ que se deseé introducir en la línea cuyo número indique la pantalla. Si el símbolo introducido no tiene longitud de 3 caracteres es devuelto como incorrecto con la indicación "LONGITUD NO PERMITIDA" que aparece en la pantalla. Si su longitud es correcta, entonces pasa a un lazo mediante el cual va comparando el símbolo introducido A\$ con ca-

da uno de los símbolos (de tres caracteres) contenidos en el array B\$, de modo que sale del lazo cuando A\$ coincide con el B\$ correspondiente, con lo cual el número de vueltas que de al lazo indicado por la variable J da una idea de la instrucción de que se trate, con lo cual según el valor de J pasa a identificar a qué grupo pertenece (máquina, flujo de datos, acumulador) para su posterior identificación en distintos sistemas de numeración. Si se termina el lazo sin haber coincidido en ningún momento A\$ y B\$ entonces el símbolo A\$ devuelto con la indicación "INSTRUCCION NO RECONOCIDA".

Una vez reconocida una instrucción e identificado el grupo a que pertenece mediante J, es enviada a la línea que corresponda el comienzo de la codificación de las instrucciones de ese grupo. Hemos pensado, dada la estructura que poseen las instrucciones del sistema MCS-4, que la forma más fácil de efectuar la codificación primero en HCD (hexadecimal codificado en decimal) e ir pasando luego de éste a cualquier otro sistema que se deseé. H1 representa el dígito hexadecimal más significativo y H0 el menos significativo. En las instrucciones de flujo de datos H1 es siempre igual a 14 mientras que H0 se obtiene como J-16. En las instrucciones del acumulador H1=16 y H0=J-32. Una vez codificada la instrucción en HCD se efectúa el paso a decimal, octal y binario (lenguaje máquina) mediante las mismas líneas para ambos tipos de instrucciones pasando seguidamente a efectuar su salida mediante la impresora, para pasar a continuación al principio preguntando por la siguiente línea. Si la orden pertenece al grupo de instrucciones de máquina, se pasa a identificar inmediatamente H1, que se obtiene, como vemos, J menos 1 si es 2, o J-2 si J es 4, es decir, si se trata de una instrucción de salto condicional (JCN) el programa salta a una línea en que pregunta cuál es la condición de salto C\$. Esta puede ser AC=0, AC#0, CY=0, TS#0, si no es ninguna de estas es devuelta con la indicación "CONDICION NO RECONOCIDA". El procedimiento de identificación es análogo al de los mnemónicos de las instrucciones, mediante un lazo en que se compara la condición introducida con las almacenadas en el array E\$, y el punto de salida de dicho lazo, identificado mediante la variable K, se utiliza para la codificación de H0, con lo cual una vez pasado a decimal octal y binario se procede a su escritura en la impresora, hecho lo cual, y puesto que en la segunda línea de esta instrucción no hay ninguna diferencia con el resto de las instrucciones dobles, el programa salta al lugar en que se efectúe su entrada.

Si J es diferente de 1 el programa pasa a preguntar por el operador, que se almacena en H2. El valor máximo que puede tomar H2 depende de la instrucción a que acompañe, de forma que para ciertos valores de J el valor de H2 es 7 y para otros es 15. El programa está pensado de modo que si se introduce un operador excesivo para la línea a que se destina, indica esta circunstancia volviendo a preguntar por el operador. A continuación se codifica H0, que salvo en 4 instrucciones es igual a H2, y seguidamente se imprime esta línea previa su codificación en decimal, octal y binario. Una vez hecho esto, si la instrucción es sencilla pasa al principio preguntando por el nuevo mnemotécnico, pero si es doble entra en otra rama del programa a

donde llega también cuando procede de una instrucción doble. Primeramente define $M\emptyset$ como 1 si $I+1 = 64.L$ y 0 en caso contrario, pasando a continuación a preguntar por el valor decimal de la segunda línea de instrucción; si este valor almacenado en D excede de 255 aparece en pantalla la indicación "VALOR EXCESIVO" preguntando de nuevo por el valor de D, que una vez admitido es convertido en los sistemas que se van a imprimir (HCD, binario, octal) por otra parte el equivalente octal que es el que se utiliza para almacenar los datos, lo invertiremos de signo para poder identificar las segundas líneas de instrucciones dobles. Una vez codificada esta segunda línea se ve mediante $M\emptyset$ si pertenece a la hoja actual $V\emptyset$ o a la siguiente: si pertenece a la hoja $V\emptyset$ se procede a escribir la citada segunda línea en la impresora, punto donde entra el programa cuando al cambiar de hoja queda pendiente de escribir una segunda línea de una instrucción doble cuya primera línea es la última de la hoja anterior, en cambio si no pertenece a $V\emptyset$ sino a la siguiente hoja $V\emptyset + 1$ salta al final del lazo que corresponde a la hoja $V\emptyset$, para indicar el fin de hoja deteniéndose aquí el programa con objeto de poder cortar la hoja si se desea, apareciendo en pantalla "FIN DE HOJA" $V\emptyset$ "PULSE CONT." si la memoria P ya está llena al pulsar CONT indica que se ha llenado y que si se desean grabar los datos en cinta basta pulsar la llave 1, en caso contrario continúa el ensamblado por la hoja siguiente, repitiéndose de esta forma todo el proceso de ensamblado.

El programa de la llave 5 contiene un programa para listado de datos con el mismo formato empleado en el ensamblador a partir de lo almacenado en el cassette, es decir, del equivalente octal, se trata por consiguiente de un codificador basado en los mismos principios que el ensamblador. En la figura 2 puede verse el diagrama de bloques del programa listado, que como puede verse presenta notable similitud con el ensamblador. Quizá la clave de este programa esté en la función FNE definida en la llave 6' que efectúa el paso de octal a HCD, el resultado es 0, 1, 2, según que H 1 sea, cualquier valor excepto 14 ó 15 respectivamente, lo cual permite identificar mediante FNE si la instrucción pertenece al grupo máquina, de flujo de datos o al del acumulador.

A partir de este momento si la instrucción es de máquina se encuentra el símbolo que le corresponde a través del valor de J, para pasar luego a decodificar el operador salvo en que se busca la condición. En cualquier caso después escribe y si la instrucción es doble decodifica y escribe la línea 2' para volver a iniciar todo el proceso con la siguiente línea.

Si la instrucción es del grupo de flujo de datos o del acumulador la decodificación es común y se efectúa por otro camino en función del resultado de FNE almacenado en W, después escribe la línea en la impresora para volver al principio con la siguiente línea.

Los listados de las llaves "0" a "8" de funciones auxiliares pueden verse en las tablas II y III.

La subrutina de la llave 0' contiene la lista de los símbolos utilizados, ordenados para su fácil identificación.

La subrutina de la llave 1' realiza una función que transforma un número decimal comprendido entre 0 y 15 a binario si el número es mayor de 15 se obtiene siempre el equivalente binario del 15 (1111). El procedimiento de

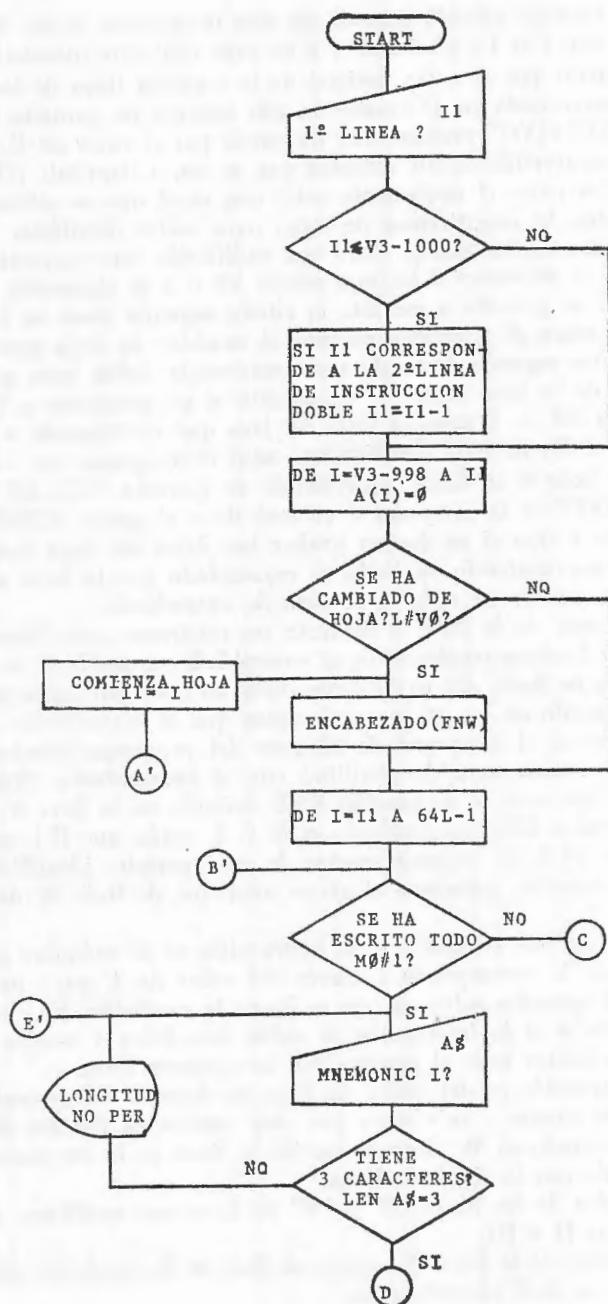


Fig. 1-a.—Ensamblador

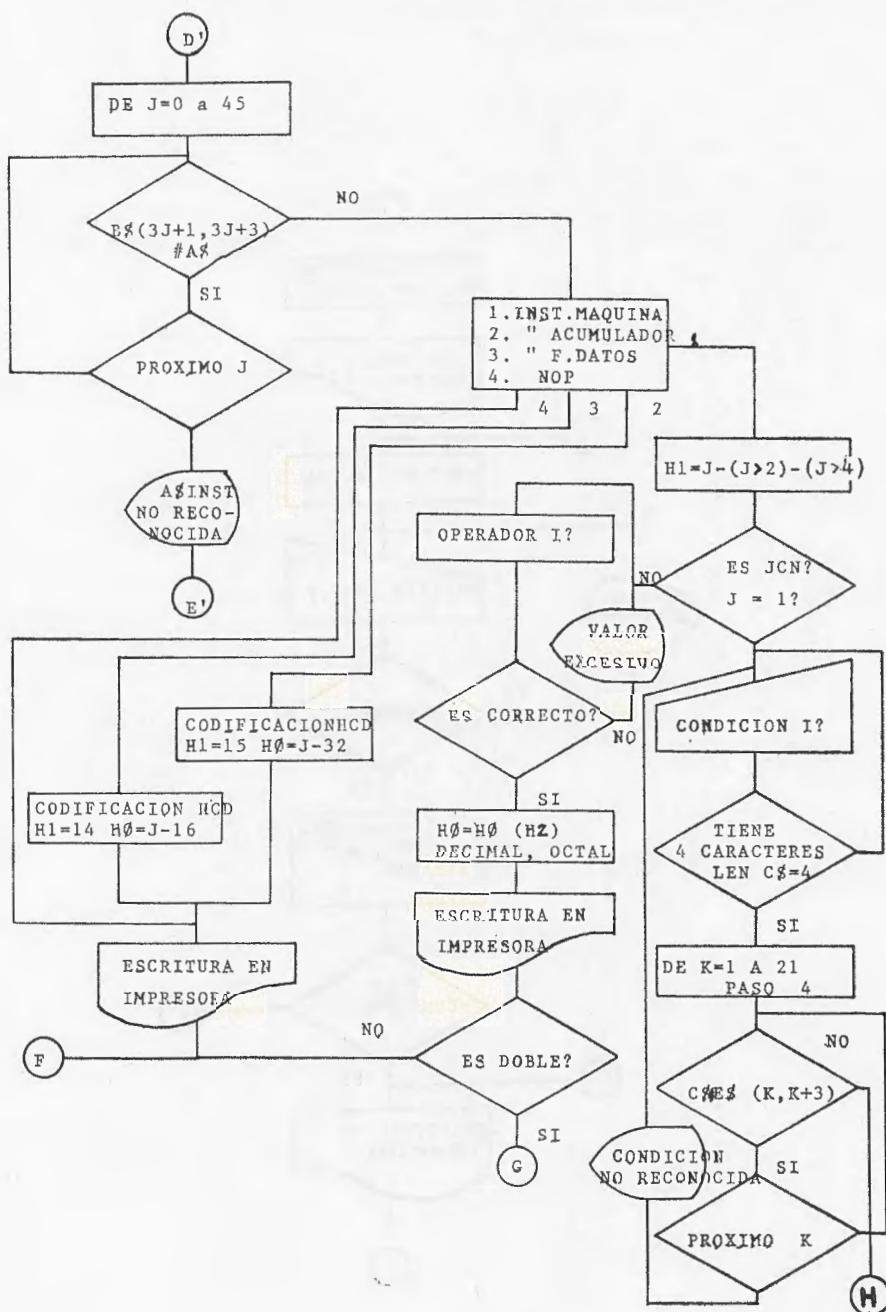


Fig. 1-b.—Ensamblador

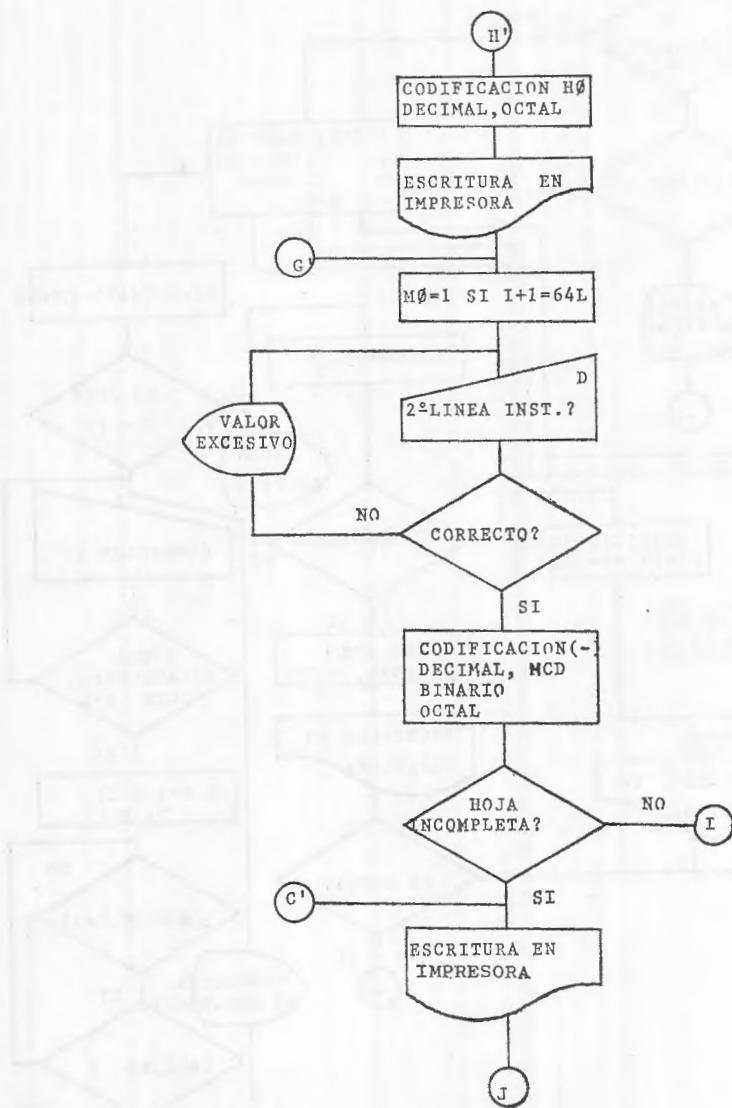


Fig. 1-c.—Ensamblador

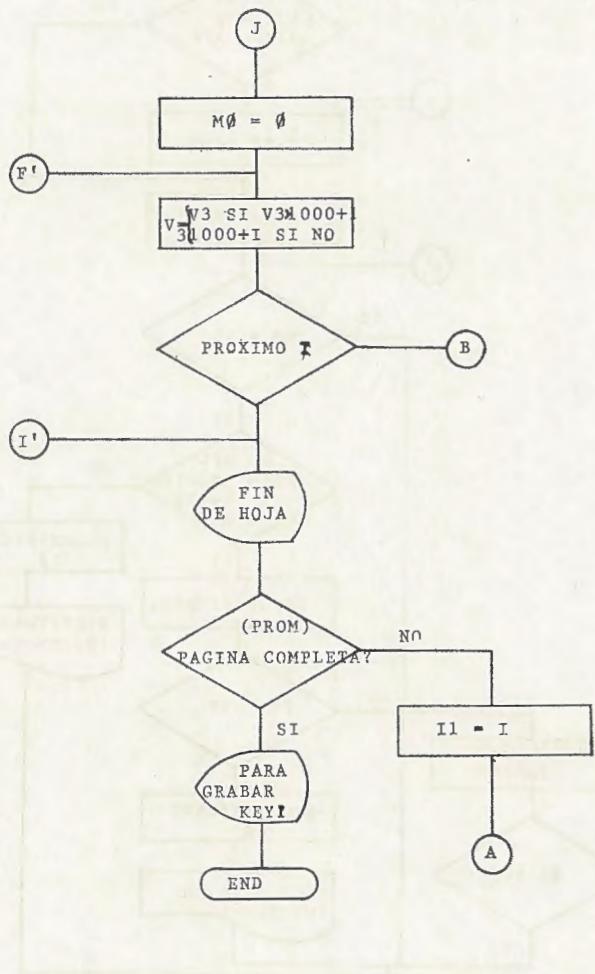


Fig. 1-d.—Ensamblador

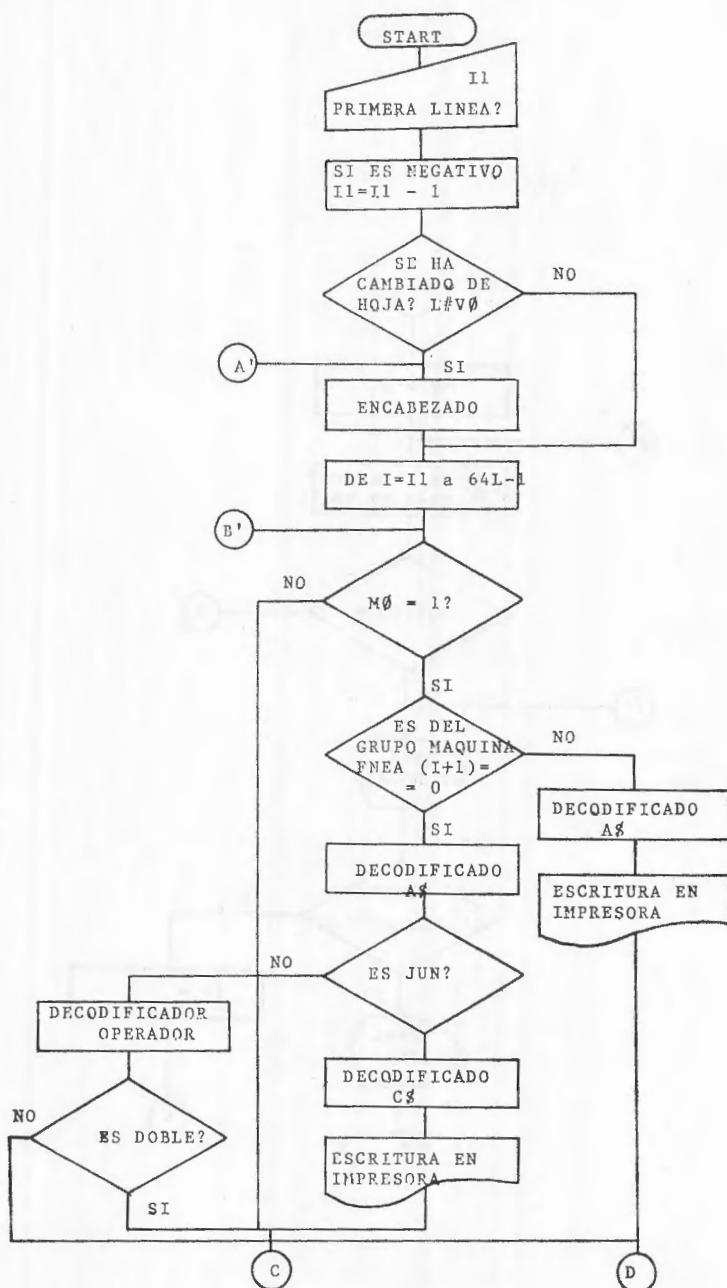


Fig. 2-a.—Listado

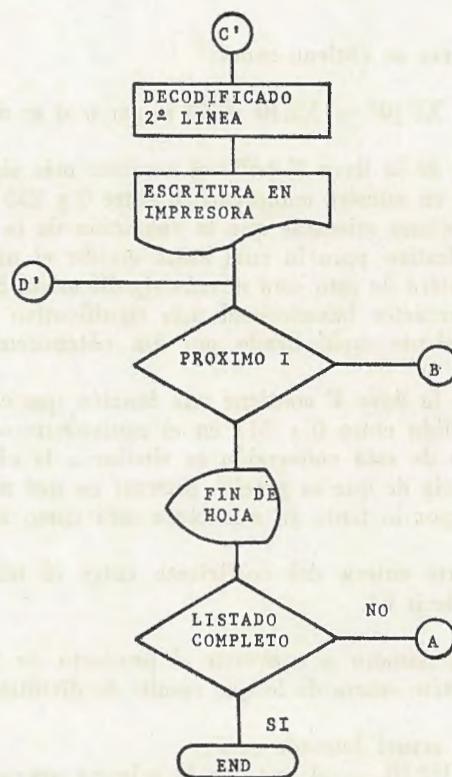


Fig. 2-b.—Listado

obtención es generar el número $X_0X_1X_2X_3$, haciendo $X_0=0$ (ó 1) si el número decimal X es menor (mayor) que 8.

$X_1 = 0$ (ó 1) si el número $(X-8X_0)$ es menor (mayor que 4).

$X_2 = 0$ (ó 1) si el número $(X-8X_0-4X_1)$ es menor (mayor) que 2.

$X_3 = 0$ (ó 1) si el decimal X es par y menor que 15 (impar o mayor que 15).

El número binario se obtiene como:

$$y = X_0.10^3 + X_1.10^2 + X_2.10 + X_3 \text{ impar o si es mayor que 15.}$$

La subrutina 2' de la llave 2' halla el carácter más significativo del código hexadecimal de un número comprendido entre 0 y 255 el cual se encuentra codificado en decimal mientras que la subrutina de la 3 hace lo propio con el menos significativo para lo cual basta dividir el número en cuestión por 16 y la parte entera de esto será el más significativo. Si al número decimal se le resta el carácter hexadecimal más significativo codificado en decimal (HCD) equivalente multiplicado por 16, obtendremos el menos significativo.

La subrutina de la llave 4' contiene una función que convierte un número decimal comprendido entre 0 y 511 en el equivalente octal.

La organización de esta conversión es similar a la efectuada en la llave 1', con la diferencia de que es preciso detectar en qué medida pasa de los exponentiales de 8, por lo tanto su estructura será como sigue:

- 1.º $U_1 =$ parte entera del coeficiente entre el número a convertir X y 8^2 es decir 64.
- 2.º Se resta al número a convertir el producto de $U_1.64$ y haciendo $U_2 =$ la parte entera de lo que resulte de dividirlo por 8.
- 3.º El número actual buscado será:

$$U_1.100 + U_2.10. + \text{el resto de la primera operación} = U_2.8.$$

La subrutina de la llave 5' ejecuta el paso de octal a binario natural, para lo cual de los dígitos octales luego se convierten a binario por separado mediante la función de la llave 1' y a continuación se unen para formar el número binario completo.

La llave 6' contiene una función que transforma octal en HCD. Esta llave se utiliza para efectuar listados de modo que actúa como decodificador de instrucciones y el resultado de la función vale 0,1, 2 según la instrucción pertenezca al grupo de instrucciones de máquina de control de flujo de información o del acumulador mientras que en las variables H1, H0 se obtienen los caracteres HCD. La subrutina es válida para valores comprendidos entre 0 y 377.

La realización se ha llevado a cabo pensando en los equivalentes binarios de ambos sistemas de numeración, a saber:

Para pasar de octal al carácter HCD menos significativo H0 dentro de este margen, bastará separar las dos cifras más significativas L0, de la menos en el número original (octal); H0 será igual a la cifra menos significativa del número digital, ± 8 si L0 es impar, mientras que H1 será la parte entera del resultado de dividir el dígito menos significativo de L0 entre 2 (equivalente a correr a la derecha en binario) + el producto del dígito más significativo de L0 por 4.

La subrutina de la llave 7' contiene encabezamientos para los listados de programas, y su resultado contiene el mismo valor de la variable. En la llave 8' están además de 2 espacios de escritura en el papel, el cálculo de la hoja 1 a 64 a que corresponde el orden de las líneas de programa que se están escribiendo.

Finalmente en la llave 9' se ha colocado el signo “#” “diferente de” que es preciso utilizar en alguna instrucción de salto condicional, por simple razón de comodidad.

Con esto quedan descritas la composición y cometido de las llaves que podemos llamar auxiliares de aquellas otras que contiene el programa propiamente dicho.

Además de las ya descritas se han incorporado en la llave 0 una subrutina de iniciación y en las llaves 1 a 4 unas subrutinas para comunicación de datos entre el ordenador y los periféricos que describimos a continuación.

La llave 0 contiene una subrutina con el dimensionado de los arrays de datos que deberán utilizarse en el resto de las llaves, así como la asignación de la lista de mnemónicos mediante la ejecución de la función FNA contenida en la llave 0'. Mediante la ejecución de esta subrutina del programa se organiza, pues, la memoria del ordenador para la ejecución del resto, de modo que debe ejecutarse siempre al comenzar la utilización del programa principal, la subrutina de la llave 0. Se selecciona también la memoria en que se va a trabajar de modo que no se cambiará hasta que no se vuelva a ejecutar dicha subrutina del programa. Variables como V0, V3, y M0 que irán tomando valores diferentes a lo largo de la ejecución del programa y a las que debe darse un valor inicial quedan definidas aquí.

La llave 1 está destinada a la subrutina del programa que graba los datos en cassette. Puesto que el sistema MCS-4 tiene una capacidad de direccionamiento de 16 memorias de programa se han utilizado en el cassette 16 filas de datos de 256 palabras de 16 bits cada una, numeradas de 0 a 15 como puede verse en la tabla IV. Una vez pulsada la tecla correspondiente a la llave 1, ésta detecta si hay datos en todas las direcciones mediante la variable V3 y en caso de no haber, almacena V3 en la última dirección (A(256)=V3) con objeto de evitar la presentación de errores debidos a variables no definidas tanto en listados como en grabación, etc. La variable V3 se define en el ensamblador y es igual a la mayor de las direcciones introducidas más 1000, de modo que cómo el número octal más alto que puede introducirse es 377 cuando A(256) sea mayor que 377 indicará que la tabla no está completa y hay direcciones con datos no especificados.

OPERACIÓN DEL PROGRAMA

Para la correcta operación del programa se precisa del siguiente equipo:

- Calculadora HP-9830A (3808 palabras memoria)
- Impresora térmica HP-9866A
- ROM de palabras HP-11274
- ROM entrada-salida HP-11272
- Módulo grabador de PROM

Con la cinta organizada tal y como se indica en la tabla IV la operación del programa es como sigue:

- 1.—Pulsar SCRATCH, A, EXECUTE
- 2.—Pulsar LOAD, K, E, Y, 1, 7, EXECUTE
- 3.—Pulsar RUN, fo (START)
Aparecerá entonces en pantalla: (PROM) PAGINA NO.?
- 4.—Introducir entonces el número de PROM en que se desee trabajar y a continuación EXECUTE.

SELECCIONE LLAVE

- 5.—En este momento las llaves f_2 (LOAD DATA), f_3 (COMPROBACION BORRADO) y f_7 (ENSAMBLADOR) pueden ser usadas y una vez usadas f_2 o f_7 o ambas y puesto que el sistema ya tiene datos pueden usarse cualquiera de las llaves.

— LOAD DATA —

- 1.—Pulsar f_2 ; aparecerá entonces en pantalla:

CARGA DE DATOS DE PAGINA, P

y pasado un breve espacio de tiempo pasará a cargar los datos de la cinta a la memoria principal. Una vez cargados define V3 apareciendo a continuación en pantalla:

DATOS PAGINA DE ø A V3-1000

Si apareciera ERROR 41 indicará que los primeros pasos no han sido ejecutados, en cambio si apareciera ERROR 40 indicará que no se habían introducido datos en la memoria indicada.

— ENSAMBLADOR —

1.—Pulsar f₇; la pantalla indicará:

ENSAMBLADOR, PRIMERA LINEA?

2.—Introducir entonces el número de la primera línea que se desee ensamblar y EXECUTE.

El programa imprime entonces los encabezados para la escritura de las líneas de programa.

3.—Aparecerán entonces en pantalla:

MNEMONIC I? (I=Primera línea a ensamblar)

En este momento debe introducirse el símbolo correspondiente y EXECUTE. Si el símbolo introducido no tiene 3 letras aparecerá:

A\$, LONGITUD NO PERMITIDA

Por otra parte si el símbolo introducido no pertenece al lenguaje del sistema MCS-4 aparecerá:

A\$, INTRODUCCION NO RECONOCIDA.

En cualesquiera de los casos, pasado un breve espacio de tiempo la pantalla indicará:

INTRODUCIR NUEVO MNEMONIC, I?

4.—Una vez que el símbolo es aceptado, si la instrucción está completa vuelve al paso 3 con el siguiente valor de I.

5.a.—Si no, la pantalla puede indicar (en otro caso, paso 6)

CONDICION (AC, TS, CY 4 DIGITOS) I?

A lo cual debe responderse con una de las 6 posibles condiciones en las que siempre el último dígito debe ser $\emptyset.p.e.TS\emptyset$.

5.b.—Si el símbolo introducido no tiene una longitud de 4 dígitos vuelve al paso 5.a. mientras que si aún teniendo 4 dígitos no es una de las condiciones reconocibles indicará:

CONDICION NO RECONOCIDA

volviendo, pasado un breve espacio de tiempo, al paso 5.a. Si la condición es correcta sigue por el paso 7.

6.a.—La otra indicación que puede obtenerse es:

OPERADOR, I?

a lo cual debe responderse con el número decimal correspondiente a la parte variable del operador de la instrucción.

6.b.—Si el operador es correcto sigue por el paso 7 pero si no lo es, indica:

VALOR EXCESIVO

volviendo a continuación al paso 6.a.

7.—Si la instrucción está completa, vuelve al paso 3, pero si no aparecerá

2' LINEA INSTRUCCION I?

a lo que debe corresponderse con el equivalente decimal de dicha línea.

8.—Si el valor introducido es superior a 255 indica:

VALOR EXCESIVO

para volver a continuación al paso 7, mientras que si es correcto vuelve al paso 3 con el siguiente valor de I.

Algunos de los errores que se pueden producir son:

— ERROR 74 si se introducen símbolos de longitud superior a 9 caracteres.

—ERROR 40 si no se ha ejecutado f_0 .

9.—Finalmente cuando se llega al término de cada hoja aparece en pantalla:

FIN DE HOJA, L, PULSE CONT.

Es el momento de cortar el papel para proseguir con la hoja siguiente, con lo cual se consigue, si todas las líneas de la hoja L han sido ensambladas, una hoja de tamaño folio. Hay que observar que si una instrucción doble queda a caballo entre esta hoja y la siguiente y se detiene el programa sin escribir la segunda línea de dicha instrucción, ésta queda correctamente ensamblada. Cuando se haya llenado una PROM completa al pulsar CONT indicará:

PARA GRABAR EN CASSETTE KEY 1

— STORE DATA —

1.—Pulsar f_1 . Aparecerá en la pantalla:

GRABACION EN CINTA DE PAGINA, P

y una vez grabados los datos indica:

DATOS GRABADOS PAGINA, P

si ocurre el error 40 es que f_0 no ha sido ejecutada.

— COMPROBACION BORRADO —

1.—Pulsar f_3 . Aparecerá en la pantalla:

COMPROBACION DE BORRADO DE PROM

a partir de este momento permanecer atento al LED indicador de error del módulo grabador, cuando el LED se enciende indica que la memoria conectada a él, no está correctamente borrada y el programa se detiene. El tiempo que emplea en la comprobación es de unos 8 seg., pasado este tiempo si la PROM está bien borrada debe indicar:

BORRADO COMPLETO

Si el LED no se enciende ni la calculadora indica lo previsto es probable que la alimentación no se halle conectada por lo que la calculadora al no recibir respuesta alguna, se detiene.

— OUTPUT —

1.—Pulsar f_4 . Aparecerá en pantalla:

SALIDA AL MODULO GRABADOR

y cuando desaparezca esto indicará:

GRABAR (Ø) O COMPROBAR (1)?

si no fuere así probablemente es que el módulo grabador está sin alimentación.

2.a.—Si se le contesta con \emptyset indica de nuevo:

GRABACION DE DATOS PAGINA, P

en previsión de errores y con objeto de que pueda detenerse en este momento la ejecución 2.b.

Unos 2'30" más tarde los datos ya deben estar grabados y la pantalla indicará:

GRABADOS DE Ø A V 3-1000

2.b.—Si en el paso a 1. se le ha contestado con un 1 pasa directamente a efectuar la comprobación de los datos que haya grabados en la PROM con los existentes en la memoria de la calculadora, el LED del módulo grabador indicará como en el caso anterior el error, deteniéndose igual.

mente la calculadora, también como allí unos 8 seg. más tarde los datos ya deben estar comprobados con lo que indicará:

COMPROBADOS DE Ø A V 3-1000

3.—Si en el paso 1 se le ha contestado con un 1 pasa directamente a efectuar la comprobación de los datos que haya grabados en la PROM con los existentes en la memoria de la calculadora, el LED del módulo grabador indicará como en el caso anterior el error deteniéndose igualmente la calculadora. También como allí unos 8 seg. más tarde los datos ya deben estar comprobados con lo que indicará:

COMPROBADOS DE Ø A V 3-1000

— LISTAR DATOS —

1.—Pulsar f_5 . Aparecerá en pantalla:

LISTADO, PRIMERA LINEA?

y una vez contestado procede al listado a partir de dicha línea hasta el final de la hoja correspondiente, entonces aparecerá:

FIN DE HOJA, CORTE Y PULSE CONT

una vez acabado el listado indica:

LISTADO COMPLETO

y se acaba.

Si el ERROR 40 aparece, puede ocurrir o bien que no se haya ejecutado f_5 o bien que no tenga aún datos que listar.

CONCLUSIONES

Resulta evidente que las prestaciones de estos programas no alcanzan las que pueden obtenerse del ensamblador de propósito especial para el microprocesador 4004 suministrado por Intel, que necesita para ser ejecutado el sistema Intelec 4. No se trata de un trabajo que pretenda igualar dichas prestaciones, lo cual será objeto de una ampliación posterior de este trabajo en el que se ha considerado como objetivo el de tratar de llevar a la práctica una serie de ideas sobre ensambladores cruzados y experimentar los resultados, para poder realizar ensambladores eficaces sobre un ordenador pequeño como es el HP-9830, de propósito general.

El ensamblador realizado permite el desarrollo cómodo sólo de programas de tamaño relativamente pequeño, debido principalmente a que no se ha previsto la posibilidad de introducción de nuevas líneas entre las ya existentes ni subrutinas de reordenación en caso de dejarse espacios intermedios, sin embargo las correcciones sobre líneas ya introducidas resultan inmediatas.

LLAVE 0*

```

10 DEF FNA(X)
20 B$(1,48) = "N0PJCNF1MSRCFINJINJUNJMSINC1S2ANDSUBLDRXCHBLLDM"
30 B$(49,96) = "WRMWMPWRRWPMWR0WR1WR2WR3SBMRDMDRADMRD0RD1RD2RD3"
40 B$(97,138) = "CLBCLCIACCMCCMARALRARTCCDACTCSSTCDAAKBPDC1"
50 E$ = "TS=0CY#0AC=0TS#0CY=0AC#0"
60 RETURN 0

```

VARIABLES USADAS: B\$(138), E\$(24)

LLAVE 1*

```

10 DEF FNB(X)
20 X0 = (X/8) >= 1
30 X1 = ((X-X0*8)/4) >= 1
40 X2 = ((X-X0*8-X1*4)/2) >= 1
50 Y = X0*1000+X1*100+X2*10+((X/2#INT(X/2)) QR (X>15))
60 RETURN Y

```

VARIABLES USADAS: X0, X1, X2, Y

LLAVE 2*

10 DEF FNC(X) = INT(X/16)

LLAVE 3*

10 DEF FND(X) = X-16*INT(X/16)

LLAVE 4*

```

10 DEF FNP(X)
20 U1 = INT(X/64)
30 U4 = X-U1*64
40 U2 = INT(U4/8)
50 U3 = U1*100+U2*10+U4-U2*8
60 RETURN U3

```

VARIABLES USADAS: U1, U2, U3, U4

LLAVE 5*

```

10 DEF FNT(X)
20 U2 = INT(X/100)
30 U3 = INT(X/10)-10*U2
40 U4 = X-U3*10-U2*100
50 U1 = FNBU2*1E+06+FNBU3*1E+03+FNBU4
60 RETURN U1

```

Tabla II.—Listados.

LLAVE 6'

```

10 DEF FNE(X)
20 L0=INT(X/10)
30 L1=(L0/2#INT(L0/2))
40 H0=X-10*L0+8*L1
50 H1=INT(L0/10)*4+(L0-10*INT(L0/10)-L1)/2
60 W=(H1>13)+(H1=15)
70 RETURN W

```

VARIABLES USADAS L0,L1,H0,H1,W.

LLAVE 7'

```

10 DEF FNW(X)
20 PRINT TAB10"LINEA"
30 PRINT TAB12"NO."TAB18"MNEMONIC"TAB32"OPR. OPA."TAB47"COD."TAB56"DECIMAL"
40 PRINT TAB67"OCTAL"
50 PRINT
60 RETURN X

```

LLAVE 8'

```

10 DEF FNQ(X)
20 PRINT
30 PRINT
40 L=INT(I1/64)+1
50 L=L+(L>4)*(4-L)+4*P
60 RETURN L

```

VARIABLES USADAS I1,I1,P

Tabla III.—Listados.

0	2	256	256	2	0	0
1	2	256	256	2	0	0
2	0	256	0	0	0	0
3	0	256	0	0	0	0
4	0	256	0	0	0	0
5	0	256	0	0	0	0
6	0	256	0	0	0	0
7	0	256	0	0	0	0
8	0	256	0	0	0	0
9	0	256	0	0	0	0
10	0	256	0	0	0	0
11	0	256	0	0	0	0
12	0	256	0	0	0	0
13	0	256	0	0	0	0
14	2	256	256	2	0	0
15	2	256	256	2	0	0
16	0	4	0	0	0	0
17	4	3500	2844	0	0	0

Tabla IV.—Organización de la Cinta.

```
LLAVE 0
10 DIM A$(9],B$(138],C$(9],E$(24],R[256]
20 DISP "(PROM)PAGINA NO."
30 INPUT P
40 P0=P+(P>15)*9
50 V0=FNA0
60 V3=999
70 DISP "PARA CARGAR DATOS, LLAVE 2"
80 END

VARIABLES USADAS P;P0,M0,V0,V3

LLAVE 1
10 DISP "GRABACION EN CINTA DE PAGINA" P
20 WAIT 2000
30 IF V3>1254, THEN 50
40 R[256]=V3
50 STORE DATA,P0,A
60 DISP "DATOS GRABADOS PAGINA" P
70 END

VARIABLES USADAS V3,P,P0

LLAVE 2
10 DISP "CARGA DE DATOS DE PAGINA" P
20 WAIT 2000
30 LOAD DATA P0,A
40 V3=R[256]+(R[256]<378)*(1255-R[256])
50 DISP "DATOS PAGINA" P DE 0 A "V3-1000"
60 END

VARIABLES USADAS V3,P,P0

LLAVE 3
10 DISP "COMPROBACION DE BORRADO DE PROM"
20 WAIT 1500
30 OUTPUT <4,*>"F"
40 OUTPUT <4,*>"C",400
50 OUTPUT <4,*>"E"
60 FOR J=0 TO 255
70 OUTPUT <4,*>400
80 NEXT J
90 DISP "BORRADO COMPROBADO"
100 END

VARIABLES USADAS J
```

Tabla V.—Listados.

LLAVE 4

```

18 DISP "SALIDA AL MODULO GRABADOR"
20 WAIT 1500
30 OUTPUT <4,*>"F"
40 OUTPUT <4,*>"C",400
50 DISP "GRABAR(0) O COMPROBAR(1)"?
60 INPUT V4
70 GOTO V4+1 OF 80,120
80 DISP "GRABACION DE DATOS PAGINA" P
90 WAIT 2000
100 OUTPUT <4,*>"D"
110 GOTO 130
120 OUTPUT <4,*>"E"
130 FOR J=0 TO V3-1000
140 V6=ABSAC[J+1]+400,
150 OUTPUT <4,*>V6
160 NEXT J
170 IF V4=1 THEN 200
180 DISP "GRABADOS DE 0 A" J-1
190 END
200 DISP "COMPROBADOS DE 0 A" J-1
210 END

```

VARIABLES USADAS V4,P,J,V6

LLAVE 5

```

10 M0=0
20 DISP "LISTADO, PRIMERA LINEA";
30 INPUT I1
40 IF I1>V3-1000 THEN 420
50 I=I1-(AC[I1+1]<0)
60 I1=I
70 IF V0=FNQ0 THEN 110
80 V0=FNQ0
90 PRINT TAB33,"HOJA" L
100 V0=FNWV0
110 FOR I=I1 TO 64*(L-4*P)+(64*(L-4*P)>V3-999)*(V3-999-64*L+4*P)-1
120 C$=""
130 IF M0=1 THEN 350
140 IF FNEAC[I+1]=0 AND H1#0 THEN 180
150 A$=B$[48*W+3*H0+1,48*W+3*H0+3]
160 WRITE <15,460>P, I, A$, " " C$,FNBH1,FNBH0,H1,H0,H1*16+H0,AC[I+1]
170 GOTO 370
180 J=H1+(H1>1),(H1>2)-(H1=2 AND H0/2=INT(H0/2))-(H1=3 AND H0/2=INT(H0/2))
190 A$=B$[3*J+1,3*J+3]
200 IF J#1 THEN 250
210 J=(H0=1)+(H0=2)*5+(H0=4)*9+(H0=9)*13+(H0=10)*17+(H0=12)*21
220 C$=E$[J, J+3]
230 WRITE <15,460>P, I, A$, " " C$,FNBH1,FNBH0,H1,H0,H1*16+H0,AC[I+1]
240 GOTO 310
250 H2=H0
260 IF H1>3 THEN 280

```

Tabla VI.—Listados.

LLAVE 5.-(CONT)

```

260 IF H1>3 THEN 280
270 H2=INT(H0/2)
280 WRITE <15,450>P,I,A$,H2,FNBH1,FNBH0,H1,H0,H1*16+H0,AC[I+1]
290 IF J#2 AND J#6 AND J#7 AND J#9 THEN 370
300 C$=""
310 M0=(I+1=64*(L-4*P))
320 I=I+1
330 W=FNEABSA[I+1]
340 IF M0=1 THEN 380
350 WRITE <15,440>P,I,H1*16+H0,FNBH1,FNBH0,H1,H0,H1*16+H0,ABSA[I+1]
360 M0=0
370 NEXT I
380 L=FNQFNQ0
390 DISP "FIN DE HOJA. CORTE Y PULSE CONT"
400 STOP
410 IF I<V3-999. THEN 60
420 DISP "LISTADO COMPLETO"
430 END
440 FORMAT F11.0,F4.0,F6.0,F15.0,F5.0,F7.0,F3.0,2F10.0
450 FORMAT F11.0,F4.0,3X,F3.0,F12.0,F5.0,F7.0,F3.0,2F10.0
460 FORMAT F11.0,F4.0,3X,F10.0,F5.0,F7.0,F3.0,2F10.0.

```

VARIABLES USADAS I1,V3,I,V0,FNQ,L,M0,FNE,H0,H1,W,P,FNB,J,H2

LLAVE.?

```

10 M0=0
20 DISP "ENSAMBLADOR, PRIMERA LINERA"
30 INPUT I1
40 IF I1>V3-1000 THEN 60.
50 I1=I1-(ACI1+1)(0)
60 FOR I=V3-998 TO I1
70 AC[I]=0
80 NEXT I
90 GOTO (V0=FNQ0)+1 OF 110,140
100 I1=64*(L-4*P)
110 L=FNQ0
120 PRINT TAB33;"HOJA" L.
130 V0=FNWL
140 FOR I=I1 TO 64*(L-4*P)-i
150 C$=""
160 IF M0=1 THEN 830
170 DISP " MNEMONIC" I:
180 INPUT A$
190 IF LEN(A$)=3 THEN 240
200 DISP A$"LONGITUD NO PERMITIDA"
210 WAIT 1500
220 DISP "INTRODUZCA NUEVO"
230 GOTO 170
240 FOR J=0 TO 45
250 IF B$[3*J+1,3*J+3]=A$ THEN 310
260 NEXT J
270 DISP A$" INSTRUCCION NO RECONOCIDA"
280 WAIT 1500
290 DISP "INTRODUZCA NUEVO"
300 GOTO 170
310 H1=H0=D=AC[I+1]=0
320 GOTO INT(J/16)+1+(J=0)*3 OF 420,390,330,370
330 H1=15
340 H0=J-32
350 D=H1*16+H0

```

Tabla VII.—Listados.

LLAVE 7 (CONT)

```

350 D=H1*16+H0
360 AC[I+1]=FNPD
370 WRITE (15,950)P, I, R$, " " C$, FNBH1, FNBH0, H1, H0, D, AC[I+1]
380 GOTO 850
390 H1=14
400 H0=J-16
410 GOTO 350
420 H1=J-((J>2)-(J>4))
430 IF J>1 THEN 500
440 DISP "CONDICION(AC;TS+CY 4DIGITOS)"1
450 INPUT C$
460 IF .LEN(C$)>4 THEN 440
470 FOR K=1 TO 21 STEP 4
480 IF E$[K,K+3]=C$ THEN 530
490 NEXT K
500 DISP C$" CONDICION NO RECONOCIDA"
510 WAIT 1500
520 GOTO 440
530 H0=K<10)*(2↑((K-1)/4)+(K>9)*(2↑((K-13)/4)+8)
540 D=H1*16+H0
550 AC[I+1]=FNPD
560 WRITE (15,950)P, I, R$, " " C$, FNBH1, FNBH0, H1, H0, D, AC[I+1]
570 GOTO 710
580 DISP "OPERADOR"1
590 INPUT H2
600 IF (H2<8 AND H2 >= 0) OR ((J#2 AND J#3 AND J#4 AND J#5) AND H2<16) THEN 650
610 DISP H2"VALOR EXCESIVO"
620 WAIT 1500
630 DISP "INTRODUCIR NUEVO."3
640 GOTO 580
650 H0=H2*(J=2 OR J=3 OR J=4 OR J=5)+(J=3 OR J=5)
660 D=H1*16+H0
670 AC[I+1]=FNPD
680 WRITE (15,940)P, I, R$, H2, FNBH1, FNBH0, H1, H0, D, AC[I+1]
690 C$=""
700 IF J#1 AND J#2 AND J#6 AND J#7 AND J#9 THEN 850
710 M0=(I+1-64*(L-4*P))
720 DISP "2" LINEA INSTRUCCION."I"
730 INPUT D
740 IF D<256 THEN 780
750 DISP D"VALOR EXCESIVO"
760 WAIT 1500
770 GOTO 710
780 I=I+1
790 H1=FNCD
800 H0=FNDD
810 AC[I+1]=-FNPD
820 IF M0=1 THEN 850
830 WRITE (15,930)P, I, D, FNBH1, FNBH0, H1, H0, D, -AC[I+1]
840 M0=0:
850 V3=I+1000+((I+1000)<V3)*(V3-I-1000)
860 NEXT I
870 L=FNQFNFQ
880 DISP "FIN DE HOJA" L, " PULSE CONT"
890 STOP
900 IF I<255 THEN 100
910 DISP "PARA GRABAR EN CASSETTE KEY1"
920 END
930 FORMAT F11.0,F4.0,F6.0,F15.0,F5.0,F7.0,F3.0,2F10.0
940 FORMAT F11.0,F4.0,3%,F3.0,F12.0,F5.0,F7.0,F3.0,2F10.0
950 FORMAT F11.0,F4.0,3%,F10.0,F5.0,F7.0,F3.0,F10.0,F10.0

```

Tabla VIII.—Listados.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) "Sistema de grabación de PROM a partir de una calculadora digital" D. Cicuén-dez. Tesina.—Santander, enero 1976.
- 2) "Flowcharts". Ned Chapin.—Auerbach, 1971.
- 3) "MCS-4 Microcomputer Set User's Manual Intel Corporation". 1974.
- 4) "Introduction to the basic computer". D. Eadie.—Prentice Hall Inc. 1968.
- 5) "Introduction to computer organization". Yaohan Chu.—Prentice Hall Inc. 1970.
- 6) "Software Considerations for Microprocessors". J. Opdenyk.—Computer. Vol. 9. n.º 1. 1976.
- 7) "Systems Languages: Managements Key to controlled Software Evolution". G. A. Kildall.— New Components and Subsystems for digital design. Technology Service Corporation. 1975.
- 8) "Microprocessors: Software become the real challenge". Electronics. Vol. 49, n.º 8. Abril 1976.
- 9) "Computer systems: Hardware/Software". Howard Falk.—Spectrum. Vol. 12, n.º 1. Enero 1975.
- 10) "Impact of Microcomputers on the Designer". H. Smith.—IEEE.

“NIVELES DE RUIDO ORIGINADOS POR EL TRAFICO
RODADO EN LA CIUDAD DE SANTANDER”

por

SEVERINO GARCÍA POSADA
ALFONSO GARCÍA SENCHERMES
ALVARO DE SANDOVAL GUERRA
EUGENIO VILLAR GARCÍA

Departamento de Física Fundamental
Facultad de Ciencias
Universidad de Santander

INTRODUCCIÓN

Cada vez es mayor la preocupación de las comunidades humanas por el medio ambiente en que viven. Se organizan campañas contra la proliferación de centrales nucleares, contra el desarrollo fabril incontrolado, contra la paulatina transformación de ríos y zonas costeras en sucios vertederos, contra la ubicación de aeropuertos cerca de zonas urbanas, contra la creciente construcción de vías urbanas de tráfico rápido y pesado, etc.

Aquellos factores que definen la calidad del medio ambiente, desde el aire limpio hasta el silencio necesario para el descanso y la relajación, están sufriendo una deterioración paulatina, en muchos casos irreversible, que puede considerarse hoy día como el problema más acuciante de las sociedades industrializadas, junto con el problema energético.

Desgraciadamente el ruido preside gran parte de las actividades que facilitan a la sociedad una serie de beneficios, hoy por hoy irrenunciables. La comunidad exige productos manufacturados que se fabrican con máquinas cada vez más potentes y rápidas; requiere mayor movilidad y exige carreteras más anchas para utilizarlas con más frecuencia y velocidad, que permitan el paso de mayores cargas sobre camiones más potentes; no renuncia a sobreutilizar los vehículos privados en las ciudades. La comunidad en fin, quiere producir ruido y no oírlo u oír lo que desea y no lo que se le impone.

En el mundo del trabajo puede observarse que la sordera profesional ya no está limitada a las tradicionales profesiones de chapistas, fundidores y pirotécnicos sino que se ha convertido en una enfermedad laboral en la mayor parte de los sectores industriales.

Crecen los parques automovilísticos, se intensifica el servicio de las aeronaves a reacción, las autopistas cruzan las ciudades y se extienden por toda la geografía, construyen pasos elevados a ras de ventanas y lo que no iba más allá de un problema laboral se ha transformado en un problema social.

Existen razones, que dificultan tomar decisiones para una reducción de los niveles de ruido en el terreno industrial. El problema se agudiza en relación al ambiente cotidiano, donde el ruido no es más que una penosa molestia, difícil de cuantificar y mucho más de ponerle precio. Está suficiente-

mente comprobado que es el ruido del tráfico en vías urbanas e interurbanas el factor dominante en el ruido ambiental. No es pues de extrañar, que los esfuerzos en este campo se dirijan al estudio del tráfico rodado en calles y carreteras como fuentes principales de ruido, tratando de determinar las variables que dominan el proceso de generación, propagación y recepción del ruido.

El ruido ambiente y el de tráfico por excelencia es una magnitud con continuas y marcadas fluctuaciones en tiempo y espacio, correlacionada fielmente con la actividad comunitaria. Es por esto que la medida del nivel de ruido en un punto y en un instante determinado suele decir muy poco de lo que puede ocurrir en otro punto o instante. De ahí las ventajas que supone el disponer de modelos matemáticos que, partiendo de las variables características del tráfico, permitan obtener los niveles de ruido en cualquier punto y a cualquier hora.

Muchos modelos de ruido interurbano suponen un tráfico ideal con propagación sin obstáculos o barreras. Sin embargo, el tráfico en zonas urbanas deja de ser fluido, varía considerablemente de unas calles a otras, los efectos barrera de los edificios son muy notables y las fuentes de ruido (vehículos), sufren crecientes variaciones con la aceleración.

Todo esto hace que los modelos para vías urbanas tiendan a ser mucho más complicados que los aplicables a vías interurbanas o de tráfico continuo y rápido. Uno de estos modelos (1), asimila las fuentes sonoras del tráfico en una ciudad a dos tipos ideales: fuentes sonoras lineales y fuentes superficiales. Las primeras están caracterizadas por una potencia sonora constante a lo largo de la línea que coincide con aquellas vías urbanas donde la densidad de tráfico obliga a mantener una separación entre vehículos mínima, por lo que con buena aproximación se puede suponer que la serie discreta de fuentes se transforma en una fuente lineal de ruido. En aquellas zonas donde la densidad de tráfico no permite aplicar la aproximación anterior, se definen una serie de celdas de determinada superficie en las que se mueven fuentes discretas de ruido, de forma aleatoria, permitiendo establecer una densidad de fuentes por unidad de superficie y por tanto una potencia acústica por unidad de superficie.

De esta forma cualquier punto de la ciudad estará sometido a la contribución de las fuentes lineales más cercanas y a la de las fuentes superficiales que le rodean. La suma de los niveles sonoros de estas contribuciones dará el nivel de ruido medio en cualquier instante.

En el presente trabajo se ha estudiado la posibilidad de utilización de ese modelo a un sector de la Ciudad de Santander, mediante la realización de una serie de medidas de nivel de ruido en numerosos puntos de la ciudad y la obtención de los datos de tráfico que los generaban, contrastándolos con los valores que deberían esperarse de la aplicación del modelo mencionado.

Por último, se estimó la necesidad de completar dicho estudio con la inclusión de otros índices matemáticos normalizados, lo que proporcionó una completa información del nivel sonoro mediante los niveles estadísticos que lo definen, para la posible confección de un mapa de ruido urbano en la zona de Santander donde se ha llevado a cabo el trabajo.

I.—EL RUIDO DE TRÁFICO

I. 1.—Consideraciones generales

Para describir el ruido se ha de atender no sólo a los caracteres físicos del sonido sino también a los efectos fisiológicos y psicológicos que el ruido produce.

Por eso, especificar solamente el NPS (Nivel de Presión Sonora) generado por una fuente acústica a determinada distancia, si bien da una medida objetiva de la magnitud acústica de la fuente, no proporciona una buena medida, ya que hay que tener en cuenta que nuestro órgano de la audición no responde igualmente a todos los tonos. El NPS mínimo que puede detectar el oído varía con la frecuencia del sonido, pudiéndose representar una curva típica llamada umbral de audición que define las áreas de silencio y audición referidas a un receptor ideal (fig. 1). Observándose además, que las personas que sufren pérdidas de audición tienen valores umbrales más altos.

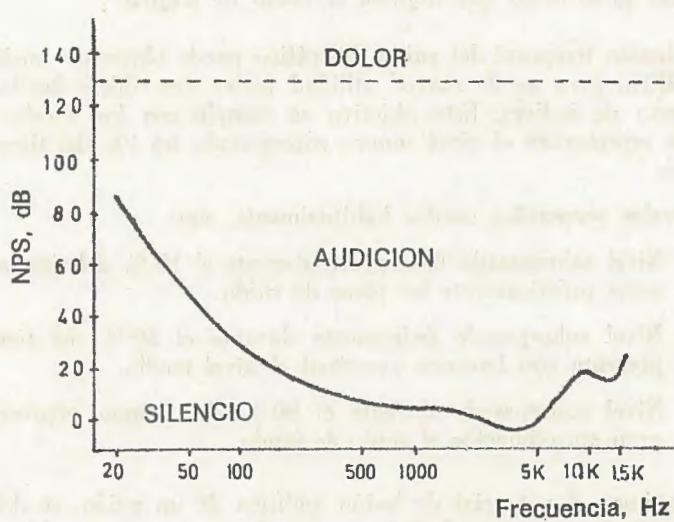


Fig. 1

Análogamente, cuando el NPS alcanza determinados valores (normalmente 130-140 dB si el sonido es continuo), se puede establecer un umbral de dolor ya que la sensación auditiva se convierte además en sensación dolorosa.

Por consiguiente, si se logra ajustar el ruido inicial a distintas frecuencias a la curva umbral de audición, se tendrá una mejor información sobre la sensación subjetiva que ese sonido produce realmente. Una red de pondera-

ración A, permite, simular la respuesta del oído. Cuando se mide el NPS con esta red, se obtiene el Nivel Sonoro en dB(A).

Además, conociendo los NPS en dB para cada banda de octava, ponderándolos con una serie de valores especificados para la red A y sumándolos logarítmicamente, se obtiene el Nivel Sonoro (NS) en dB(A).

Sin embargo, con esta información, no se tiene todavía una representación fiel del ruido, ya que no se conoce con ello, su evolución temporal. Además, desde el punto de vista de la protección auditiva, que para obtener una valoración adecuada del riesgo de daño, no se debe tomar tan sólo en consideración el nivel de la señal, sino que ha de atenderse también a la duración de su acción—, interesa fundamentalmente, evaluar la energía total disipada durante cierto tiempo (concepto de Dosis de Ruido), para lo que deberán hacerse integraciones temporales mediante leyes adecuadas, obteniendo así, una representación cuantitativa de los estados de molestia auditiva o riesgos de sordera.

I. 2.—Niveles estadísticos que definen el ruido de tráfico

La evolución temporal del ruido de tráfico puede obtenerse mediante un registro gráfico, pero es de mayor utilidad poder describirle dando un pequeño número de índices. Este objetivo se cumple con los niveles percentiles L_i que representan el nivel sonoro sobrepasado un $i\%$ del tiempo total de recepción.

Los niveles percentiles usados habitualmente, son:

L_{10} : Nivel sobrepasado únicamente durante el 10 % del tiempo, representa prácticamente los picos de ruido.

L_{50} : Nivel sobrepasado únicamente durante el 50 % del tiempo, representa con bastante exactitud el nivel medio.

L_{90} : Nivel sobrepasado durante el 90 % del tiempo, representa con gran aproximación el ruido de fondo.

Para estimar el potencial de lesión auditiva de un ruido, se debería de evaluar la energía sonora total disipada, por lo que para un ruido variable, se define el llamado Nivel Sonoro Contínuo Equivalente (Leq), que representa el Nivel Sonoro que tendría un ruido continuo y constante que en el mismo tiempo disipase igual energía sonora que el analizado.

Matemáticamente Leq es el nivel medio energético durante el tiempo T:

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L/10} \cdot dt \right]$$

calculable conociendo el nivel sonoro instantáneo $L(t)$.

Si bien, la representación de los niveles de ruido a lo largo del tiempo es en general aleatorio (ruido de circulación), tiene interés teórico el caso en que sigue la ley de Gauss, demostrándose que si la distribución de niveles es gaussiana, el nivel percentil L_{50} y el Leq están relacionados mediante:

$$\text{Leq} = L_{50} + 0.11 \sigma^2$$

donde σ es la desviación típica.

El estudio experimental del grado de molestia manifestado por observadores sometidos a variadas distribuciones de ruido, demuestra que se ajusta muy bien por una función ($L_{10} - L_{90}$) del llamado Clima de Ruido, que mide las desviaciones entre las puntas sonoras y el ruido de fondo, lo que induce a definir el TNI (Traffic Noise Index), como:

$$\text{TNI} = 4(L_{10} - L_{90}) + L_{50} - 30$$

expresando el primer término la variabilidad del ruido (Clima de Ruido) y el segundo, el nivel de ruido de fondo. El último término se usa para obtener valores numéricos convenientes.

Otro índice de uso habitual, es el NPL (Noise Pollution Level), que tiene en cuenta a la vez, los niveles medios y la desviación típica, siendo para un ruido gaussiano:

$$\text{NPL} = \text{Leq} + 2.56 \sigma$$

II.—MODELO UTILIZADO

En la literatura reciente relativa al ruido urbano se han propuesto diversos modelos con el objeto de conocer los principales factores que contribuyen a originar el ruido y la cuantía de esa contribución, lo que permite no sólo predecir la situación y evolución de los niveles de ruido, en determinado lugar, sino también intentar minimizar los niveles existentes incidiendo sobre las causas que los originan. Algunos de estos modelos se diseñaron para predecir niveles de ruido ambiental en áreas homogéneas de una ciudad. Otros modelos fueron específicamente desarrollados suponiendo volúmenes de tráfico elevado y en condiciones de circulación ininterrumpida, por lo que no resultan aplicables para la predicción de los niveles de ruido derivados del tráfico en las calles de una ciudad ordinaria, en donde existen calles principales que poseen semáforos y calles laterales con señales de "stop".

Un modelo en el que se tienen en cuenta todos estos factores (1) supone, que los niveles de ruido de tráfico y sus variaciones temporales se originan por el flujo intermitente de vehículos ligeros y pesados, distribuidos de modo que las calles principales pueden asimilarse a fuentes lineales y el conjunto de las restantes a un mosaico de fuentes sonoras extensas,

Las características más sobresalientes del modelo son:

- Sólo se tienen en cuenta dos tipos de fuentes puntuales de ruido, los vehículos ligeros (turismos, motocicletas, etc.) y los vehículos pesados (camiones, autobuses, vehículos de transporte colectivo, etc.).
- Todas las calles o avenidas con flujos de tráfico superiores a 500 vehículos por día, son tratadas como fuentes lineales de ruido.
- Todas las demás zonas urbanas se consideran, de manera colectiva, como fuentes extensas de ruido, cada una de ellas caracterizada por tener una intensidad de ruido definida por sus especiales características urbanas.
- Cada fuente lineal se subdivide en segmentos homogéneos de tal manera, que a todos sus parámetros se les supone idénticos.
- Cada segmento está definido geométricamente por las coordenadas cartesianas X, Y de sus puntos extremos, y en cada segmento hay que considerar los siguientes parámetros: el volumen de tráfico total (Q_d), el número de semáforos (t) y el número de carriles en la calle (n).
- A partir del volumen de tráfico total diario y el porcentaje P de tráfico a una hora dada, es posible calcular el volumen medio de tráfico Q (en vehículos por hora) en un tiempo dado en un segmento considerado, como:

$$Q = Q_d \cdot P / 100 \quad \text{veh. h}^{-1}$$

Como la composición de tráfico, viene dada por vehículos ligeros y vehículos pesados, —teniendo lógicamente diferentes espectros de distribución de energía sonora—, se puede expresar el tráfico pesado (autobuses, camiones, etc.) como un porcentaje p del tráfico total a una hora dada.

- El número total de vehículos presentes simultáneamente en un segmento de longitud l (en metros), viene dado por:

$$N_s = \frac{Q}{3600} \left[\frac{3.6 L}{V} + d \right]$$

Este número de vehículos N_s puede considerarse como la media del número N_1 de vehículos ligeros a velocidad V en un instante dentro de dicho segmento:

$$N_1 = \frac{(1 - p) \cdot Q \cdot l}{1000 V}$$

del número N_2 de vehículos pesados que viajan a velocidad V en un instante dado dentro del segmento:

$$N_2 = \frac{p \cdot Q \cdot 1}{1000 V},$$

del número N_3 de vehículos ligeros al "ralentí" (ruido emitido como si los vehículos estuviesen moviéndose a velocidad $V = 40$ km/h):

$$N_3 = \frac{7 (1 - p) Qd}{8 \cdot 3600},$$

del número N_4 de vehículos que aceleran con velocidad V :

$$N_4 = \frac{(1 - p) Qd}{8 \cdot 3600},$$

del número N_5 de vehículos pesados al "ralentí" (ruido emitido como si los vehículos se moviesen con velocidad $V = 35$ km/h):

$$N_5 = \frac{7 \cdot p \cdot Q \cdot d}{8 \cdot 3600},$$

y del número N_6 de vehículos pesados que aceleran con velocidad V , que viene dado por:

$$N_6 = \frac{p \cdot Q \cdot d}{8 \cdot 3600}$$

En las expresiones anteriores se ha supuesto que el período de aceleración de los vehículos representa un octavo de la duración de la demora en el segmento siendo posible determinar cuántos vehículos, tanto ligeros como pesados, se encuentran al "ralentí", acelerando o moviéndose con velocidad V al mismo tiempo dentro del segmento considerado. Por todo ello, el tiempo medio total de viaje a lo largo de un segmento de longitud I será:

$$\frac{3.6 \cdot I}{V} + d \quad \text{segundos}$$

donde el primer sumando representa el tiempo de tránsito y el segundo la demora en dicho segmento.

- El modelo supone que para densidades que estén por debajo de 100 vehículos por kilómetro y carril, la velocidad de crucero V de los vehículos decrece linealmente con el volumen de tráfico según:

$$V = k_1 - k_2 Q/n \quad \text{km/h}$$

donde k_1 representa la velocidad máxima permitida en una vía urbana (60 km/h), y el coeficiente k_2 debe evaluarse a partir de un estudio del tiempo de viaje a lo largo del segmento.

- También se admite que la demora o retraso medio d para todos los vehículos que se aproximan a una señal semafórica es igual a (2):

$$d = R^2 / 2 (R+G) (1-\rho) \quad \text{segundos}$$

donde R es la duración de la fase roja (seg.), G el de la fase verde (seg.) y ρ un factor, denominado "grado de saturación", relación entre q_a (número de vehículos que llegan por unidad de tiempo) y q_d (número de vehículos que parten por unidad de tiempo). El caudal de llegada puede tomarse como el volumen de tráfico $Q/3600$. Según datos experimentales y suponiendo que la longitud de la fase roja R es igual a la de la fase verde G , resulta que el número de vehículos que salen por unidad de tiempo (seg.) es: $q_d = n(2R+5 - \sqrt{20R-15})/4R$ veh/seg. Por la misma consideración $R=G$, resulta que el retraso medio viene entonces expresado, por:

$$d = \frac{R}{2(1-Q/3600q_d)} \quad \text{segundos}$$

en donde sustituyendo el valor de q_d resulta:

$$d = \frac{15}{1-Q/1224 \cdot n} \quad \text{segundos}$$

Si t es el número de semáforos en un segmento dado, el retraso medio total es igual a:

$$d = \frac{15 t}{1-Q/1224 \cdot n} \quad \text{segundos}$$

- Si la potencia acústica total irradiada por un total de N_s vehículos en un segmento de calle en un instante dado, se supone uniformemente distribuida a lo largo de él, la potencia lineal acústica I_s de la fuente lineal de longitud total l , viene dada por:

$$I_s = \frac{D_m^2}{l} 10^{-9} \sum_1^{N_s} 10^{SPL_i/10} \quad \text{W/m}$$

donde SPL_i es el nivel sonoro en dB(A) de cada uno de los seis vehículos de la clase i antes mencionados, D_m es la distancia, 15 metros, de referencia en las medidas del SPL_i y 10^{-9} es la intensidad de referencia:

$$I_0 = 10^{-9} \text{ erg. s}^{-1} \text{ cm.}^{-2}.$$

La intensidad acústica en un punto receptor debida a una fuente lineal AB, viene dada por:

$$I_i = I_s \int_A^B \frac{e^{-\alpha D}}{D^2} dx = I_s \cdot G \quad \text{W/m}^2 \quad [1]$$

donde D mide la longitud desde el punto receptor R (situado a cualquier distancia de la fuente), de coordenadas (X_r, Y_r) , y dx es un segmento elemental. Asimismo, α es el coeficiente de absorción atmosférica y G el "término de propagación". (fig. 2).

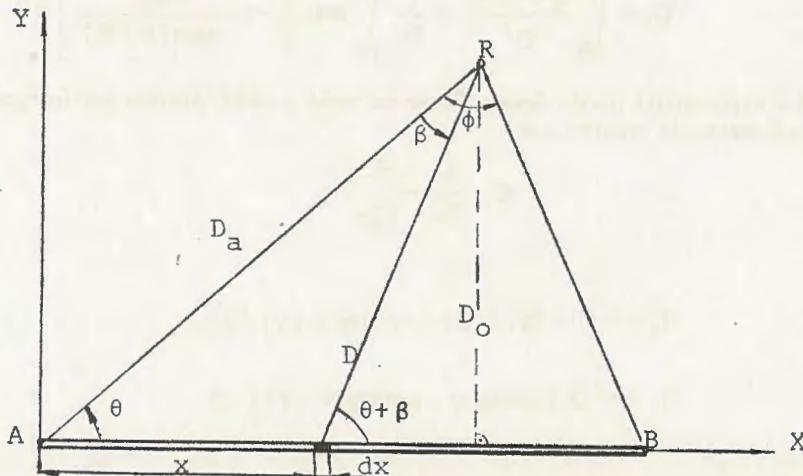


Fig. 2

Aunque α depende de la frecuencia, se ha demostrado que los cálculos pueden llevarse a cabo utilizando una absorción media de 4 dB por kilómetro, cometiéndose un error del orden de 0.2 dB, que puede considerarse despreciable.

El término de propagación puede escribirse así:

$$G = \frac{1}{D_0} \int_0^\phi \exp \left[\frac{-\alpha D_0}{\sin(\theta + \beta)} \right] \cdot d\beta \quad [2]$$

donde D_0 es la altura del triángulo (fig. 2) trazada desde el vértice R (situado en el punto receptor) al lado opuesto que resulta ser el segmento de fuente lineal considerado AB y θ y β los ángulos en A y R respectivamente.

A la vista de la fig. 2, la expresión [2] se obtiene de realizar las siguientes consideraciones:

$$D = \frac{D_0}{\sin(\theta + \beta)}$$

$$X = D_a \frac{\sin \beta}{\sin(\theta + \beta)}$$

$$dx = \frac{D_0}{\sin^2(\theta + \beta)} d\beta$$

Por tanto, sustituyendo en [1], se tiene:

$$G_i = \int_B^A \frac{e^{-\alpha_i D}}{D^2} = \frac{1}{D_0} \int_0^\varphi \exp \left[-\alpha_i \frac{D_0}{\sin(\theta + \beta)} \right] d\beta$$

La exponencial puede desarrollarse en serie y cada término ser integrado separadamente de manera que:

$$G = \frac{\theta}{D_0} + \sum_{i=1}^{\infty} T_i$$

con

$$T_1 = \alpha \left\{ \ln \tan(\theta/2) - \ln \tan(\theta + \varphi)/2 \right\}$$

$$T_2 = \alpha^2 D_0 \left\{ \cot \theta - \cot(\theta + \varphi) \right\} / 2$$

y para $i \geq 2$:

$$T_i = \frac{(-1)^{i-1} \alpha^i D_0^{i-1}}{(i-1) i} \left[\frac{\cos(\theta + \varphi)}{\sin^{i-1}(\theta + \varphi)} - \frac{\cos \theta}{\sin^{i-1} \theta} \right] - (i-2) \frac{\alpha^2 D_0}{(i-1)^2 i} \cdot T_{i-2}$$

$$y \quad T_0 = \theta/D_0$$

La sumación iterativa se para tras el término T_K si su contribución al total es menor del uno por ciento, esto es, se trunca el desarrollo en el término que contribuye en menos de un 1 % del total anterior, con lo que un error del 2.3 % en el término de propagación originará un error de tan sólo 0.1 dB al nivel de ruido en el receptor.

La continuación de las fuentes sonoras superficiales se calcula sustituyéndolas por un conjunto de cuadrados de 250 ó 500 metros de lado centrados en ellas, que irradian una energía sonora constante, dependiente de la

densidad del parque automovilístico en ellas, caracterizándose cada una por un factor de ponderación W que varía de 0 a 10 según su densidad de vehículos, asignándose el valor 0 cuando está comprendida entre 0 y 200 veh/km², el 1 si lo está entre 200 y 400, y así sucesivamente.

El cálculo de densidades de tráfico en una fuente sonora superficial de "a" m² (250 x 250 ó 500 x 500 m²) y factor de ponderación W (0 a 10), se hace teniendo presente el procedimiento de Shaw y Olson's (3) y los datos estadísticos existentes para el área considerada.

El tráfico local representa el 17 % del total y sigue la misma evolución temporal que las fuentes lineales. La densidad de vehículos en movimiento en un área en una hora determinada se da por:

$$N_a = \frac{1}{480} \frac{P W K}{\sum W a^2} \quad (\text{veh/km}^2)$$

donde K representa el número total de vehículos censados en la zona, P el porcentaje del volumen medio de tráfico diario en una hora determinada, W el factor de ponderación que caracteriza al área, y "a" es la longitud del lado de la cuadricula que encierra el área (250 ó 500 metros). La resultante o sumatorio es para todas las áreas de la región objeto de estudio. Los vehículos se consideran que viajan a una velocidad media de 40 km/h, y que el 10 % aproximadamente de ellos, están acelerando. En definitiva, cada área queda caracterizada por dos coordenadas que definen su posición en la red de referencia, el valor del lado "a" del área y la intensidad N_a en un tiempo dado.

Para una fuente sonora extensa, la potencia acústica I_i por unidad de superficie viene dada por:

$$I_i = \frac{D_m^2}{a^2} 10^{-9} \sum_1^{N_a} 10^{SPL_j/10}$$

La intensidad acústica debida a cualquier área en un punto receptor R , viene dada por integración, sobre la superficie del área, de la contribución de una superficie elemental $dx dy$ a una distancia D del receptor R , esto es:

$$I_{Ri} = I_i \int_{-a}^{+a} \int_{-a}^{+a} \frac{e^{-\alpha_i D}}{D^2} dx dy$$

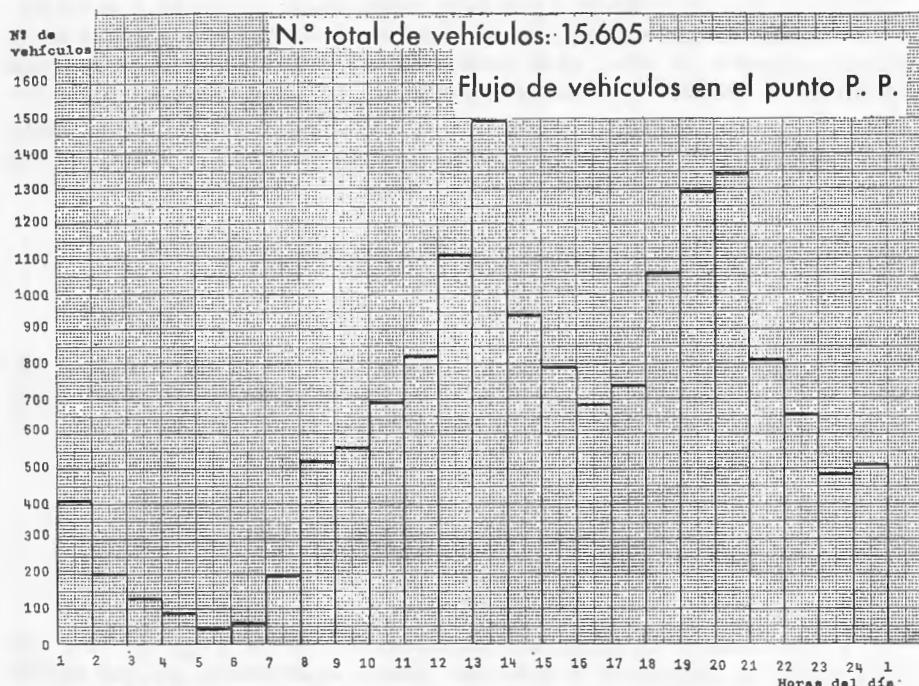
El problema se simplifica considerablemente, debido a que no es preciso extender la integración a todas las fuentes superficiales, ya que experimentalmente se observó que el nivel de ruido en el receptor situado a más de 125 metros de una de ellas, no superaba los 47 dB(A), bastando en todos los casos tener en cuenta la contribución de cuatro subáreas iguales alrededor del receptor.

III.—APLICACIÓN DEL MODELO. MEDIDAS Y RESULTADOS

III.1.—*Consideraciones generales*

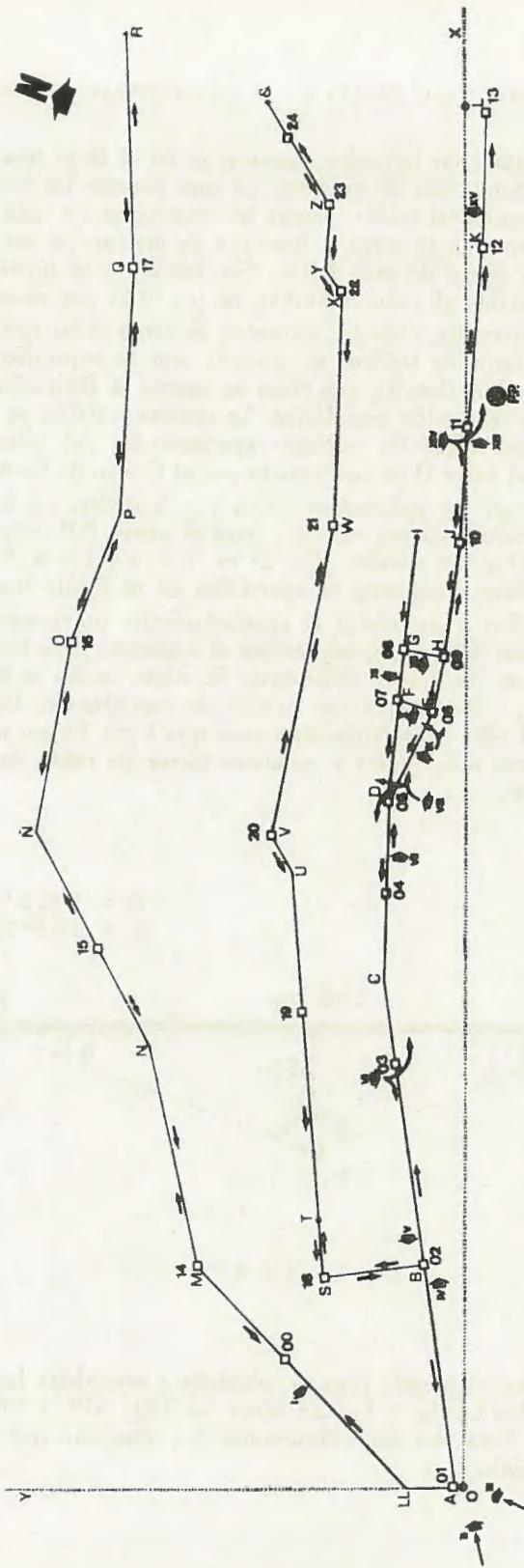
Evidentemente, un estudio más profundo debería incluir también como parámetros significativos la anchura de la vía, la pendiente de la calle y el apantallamiento por edificios, obstáculos, arbolado, jardines, etc. Además habría que introducir un parámetro de ponderación para el ruido de fondo que diera cuenta del entorno acústico: zona comercial, industrial, colegios, obras, etc.

En primer lugar, se determinaron los valores de los parámetros característicos de la siguiente forma: El flujo de vehículos Q , se obtuvo a partir de datos facilitados por el Centro de Control de Tráfico del Excmo. Ayuntamiento de Santander. (El sistema de conteo de vehículos instalados por el Municipio, se basa en los impulsos de tensión que experimenta una bobina por el peso de los vehículos, situada bajo el asfalto y cuya señal es enviada a la Unidad Central de Proceso, donde es detectada y transmitida a un teletipo).



Como el dispositivo de recuento automático de vehículos no discrimina si se trata de vehículos ligeros o pesados, hubo que determinarlo experimental-

SANTANDER



FUENTES LINEALES

Fig. 3

mente. El porcentaje de vehículos pesados, p , en el flujo total Q , se estimó en primera aproximación, en un 20 % ya que durante las horas diurnas, el principal componente del tráfico pesado lo constituyen los autobuses urbanos, por estar reglamentada la carga y descarga de mercancías así como la recogida de basuras fuera de esas horas. Sin embargo, la hipótesis inicial de $p = 0.2$, fue reducida al valor definitivo de $p = 0.18$ por muestreos directos.

La velocidad media V de los vehículos, se tomó como una función lineal decreciente del flujo de tráfico, de acuerdo con la expresión ya indicada: $V = 60 - 0.032 Q/n$ (km/h), que tiene en cuenta la limitación de velocidad a 60 km/h. y la regulación semafórica. La constante 0.032, se determinó por correlación, obteniéndose los valores experimentales del velocímetro de un turismo R-5 y del valor Q proporcionado por el Centro de Control de Tráfico.

Está claro, que los parámetros: d , n y t dependen del lugar en que se ubique el observador, así por ejemplo, para el punto P.P. referido a los ejes que se indican (Fig. 3), resulta: $d = 25$ m., $n = 4$ y $t = 4$. En dicho punto, se puede considerar dominante la aportación de la fuente lineal emisora de ruido JK, en orden a considerar el apantallamiento provocado por las edificaciones del Paseo de Pereda, adyacentes al segmento para las fuentes extensas posteriores, en las que el decremento de ruido medio es menor de 6 dB y que por tanto, —de acuerdo con gráfica de contribución del ruido de fondo al ruido total (4)—, resultaría ser menor que 1 dB. Es por esto, por lo que puede considerarse como única y exclusiva fuente de ruido, la originada por dicha vía (fig. 4).

$$\begin{aligned}\theta &= 5^{\circ}13' 56'' 172 \\ \phi &= 169^{\circ}32' 7'' 656\end{aligned}$$

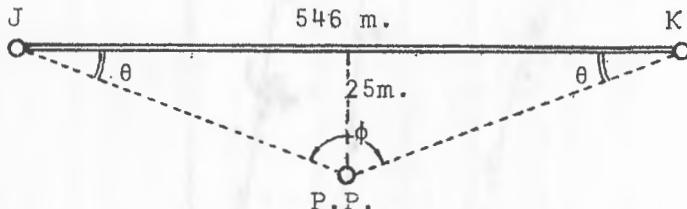


Fig. 4

El programa, elaborado para la calculadora suministra los valores de los niveles percentiles L_{10} , L_{50} y L_{90} , así como los TNI, NPL y CR a lo largo de las veinticuatro horas del día, obteniéndose los resultados que se muestran en la siguiente página.

HORAS	L(10)	NIVEL MEDIO	L(90)	TRAFFIC NOISE INDEX	NOISE POLLUTION LEVEL	CLIMA DE RUIDO
1.0. - 2.0	L(10)= 79.6	L(50) = 67.6	L(90)= 63.5	TNI = 98.1	NPL = 93.5	NC = 16.2
2.0 + 3.0	L(10)= 78.9	L(50) = 68.0	L(90)= 61.5	TNI = 101.0	NPL = 94.7	NC = 17.4
3.0 - 4.0	L(10)= 76.3	L(50) = 63.1	L(90)= 55.0	TNI = 110.3	NPL = 98.5	NC = 21.3
4.0 - 5.0	L(10)= 74.7	L(50) = 59.8	L(90)= 51.1	TNI = 115.7	NPL = 101.0	NC = 23.7
5.0 - 6.0	L(10)= 73.1	L(50) = 56.9	L(90)= 47.2	TNI = 121.1	NPL = 103.7	NC = 26.0
6.0 - 7.0	L(10)= 70.7	L(50) = 51.1	L(90)= 41.3	TNI = 129.0	NPL = 107.8	NC = 29.4
7.0 - 8.0	L(10)= 71.8	L(50) = 53.5	L(90)= 44.0	TNI = 125.4	NPL = 105.9	NC = 27.9
8.0 - 9.0	L(10)= 76.2	L(50) = 62.9	L(90)= 54.8	TNI = 110.6	NPL = 98.7	NC = 21.5
9.0 - 10.0	L(10)= 79.7	L(50) = 69.3	L(90)= 63.7	TNI = 97.9	NPL = 93.4	NC = 16.1
10.0 - 11.0	L(10)= 80.0	L(50) = 69.7	L(90)= 64.3	TNI = 96.9	NPL = 93.0	NC = 15.6
11.0 - 12.0	L(10)= 80.6	L(50) = 70.7	L(90)= 66.2	TNI = 94.0	NPL = 92.0	NC = 14.5
12.0 - 13.0	L(10)= 81.2	L(50) = 71.4	L(90)= 67.7	TNI = 91.6	NPL = 91.1	NC = 13.5
13.0 - 14.0	L(10)= 82.0	L(50) = 72.1	L(90)= 70.3	TNI = 87.2	NPL = 89.5	NC = 11.7
14.0 - 15.0	L(10)= 82.7	L(50) = 72.8	L(90)= 72.8	TNI = 82.6	NPL = 87.9	NC = 10.0
15.0 - 16.0	L(10)= 81.6	L(50) = 71.7	L(90)= 68.9	TNI = 89.6	NPL = 90.4	NC = 12.7
16.0 - 17.0	L(10)= 81.1	L(50) = 71.2	L(90)= 67.4	TNI = 92.1	NPL = 91.3	NC = 13.7
17.0 - 18.0	L(10)= 80.6	L(50) = 70.7	L(90)= 66.1	TNI = 94.1	NPL = 92.0	NC = 14.5
18.0 - 19.0	L(10)= 80.9	L(50) = 71.0	L(90)= 66.8	TNI = 93.0	NPL = 91.6	NC = 14.1
19.0 - 20.0	L(10)= 81.9	L(50) = 72.0	L(90)= 69.9	TNI = 87.9	NPL = 89.8	NC = 12.0
20.0 - 21.0	L(10)= 82.4	L(50) = 72.1	L(90)= 71.6	TNI = 84.9	NPL = 88.7	NC = 10.8
21.0 - 22.0	L(10)= 82.5	L(50) = 72.1	L(90)= 71.9	TNI = 84.3	NPL = 88.5	NC = 10.6
22.0 - 23.0	L(10)= 81.1	L(50) = 71.3	L(90)= 67.6	TNI = 91.8	NPL = 91.2	NC = 13.5
23.0 - 24.0	L(10)= 80.5	L(50) = 70.5	L(90)= 65.7	TNI = 94.7	NPL = 92.2	NC = 14.0
24.0 - 25.0	L(10)= 79.5	L(50) = 69.0	L(90)= 63.0	TNI = 98.8	NPL = 93.8	NC = 16.4

III.2.—*Criterios de medida*

Con el fin de determinar directamente los niveles experimentales de ruido ambiental, se procedió a una campaña sistemática de recogida y análisis de datos, durante el período comprendido entre el 4 de febrero y el 4 de abril de 1977, de acuerdo con los siguientes criterios:

- En primer lugar, puesto que se trataba de describir el ruido ambiental provocado por el tráfico rodado, se decidió descartar aquellas zonas que están excluidas de circulación o en que a priori, se consideró que el ruido provocado por ellas no era dominante, como es el caso de las calles comerciales paralelas y posteriores a la fuente lineal donde se encuentra el Paseo de Pereda, así como las zonas residenciales. Se decidió centrar el estudio en las tres vías (fig. 3), compuestas por segmentos cuyos parámetros característicos se muestran en la página siguiente, seleccionando en ellos, 24 emplazamientos para la toma de datos. En cada uno, se recogieron cuatro muestras a horas distintas, con el fin de tomar las horas de mayor flujo de tráfico de la mañana (12 a 13 h.) y de la tarde (19 a 20 h.), así como aquellas en que la densidad de tráfico fue considerada como media (9 a 10 y de 17 a 18 h.) de la mañana y tarde respectivamente. En total, fueron recogidos 96 registros, lo que totalizaron 1.920 minutos de grabación. Las muestras, se tomaron durante los días laborables a lo largo del período indicado, excluyendo por tanto, los días festivos, en los cuales el flujo de tráfico y la actividad normal de la comunidad deja de ser genérica.
- Se rechazaron los días meteorológicamente desfavorables, es decir días con lluvia, viento fuerte y humedad alta, debido a que el coeficiente de absorción medio que se estimó ($\alpha = 0.004 \text{ dB/km.}$) es válido sólo para temperaturas comprendidas entre 0 y 30°C .

Dado que cuando el viento actúa sobre el micrófono, produce un ruido considerable, para minimizarle se empleó una pantalla especial formada por una esfera esponjosa de poliuretano que además, lo protegía del polvo.

Asimismo, aunque en las especificaciones del micrófono se admite una tolerancia en la humedad relativa de hasta el 90 %, no se creyó conveniente tomar muestras cuando excedía del 60 %.

No se tuvieron en cuenta las variaciones de la presión atmosférica sobre la sensibilidad del micrófono, ya que para el empleado, una variación de presión atmosférica de $\pm 10\%$ supone una variación en el nivel sonoro menor de $\pm 0.2 \text{ dB}$, y además se calibró el micrófono con un pistófono en cada registro, con lo que quedó corregida en gran parte su posible influencia.

Segmento	Longitud (metros)	Coordenadas iniciales		Coordenadas finales		Núm. de carriles	Núm. de señales o stop
		X _i	Y _i	X _f	Y _f		
A B	415	0	14	410	75	4	4
B C	525	410	75	980	150	4	4
C D	345	980	150	1.275	140	3	3
D E	180	1.275	140	1.427	55	4	2
D F	175	1.275	140	1.452	125	2	2
F E	70	1.452	125	1.427	55	2	3
G H	75	1.542	110	1.527	45	2	3
F I	300	1.452	125	1.742	77	2	3
F J	315	1.427	55	1.735	13	4	4
J K	546	1.735	13	2.277	—32	4	4
K L	245	2.277	—32	2.525	—40	4	4
A LL	90	0	14	0	210	2	4
LL M	555	0	210	400	485	2	2
M N	405	400	485	805	575	4	4
N Ñ	455	805	575	1.212	782	4	2
Ñ O	350	1.212	782	1.562	717	4	1
O P	250	1.562	717	1.794	630	4	2
P Q	450	1.794	630	2.245	605	4	2
Q R	425	2.245	605	2.663	615	4	2
B S	185	410	75	356	252	2	2
S T	105	356	252	490	266	1	0
T U	640	490	266	1.130	310	1	0
U V	80	1.130	310	1.200	350	2	1
V W	580	1.200	350	1.764	240	2	4
W X	430	1.764	240	2.200	225	2	0
X Y	50	2.200	225	2.242	250	1	0
Y Z	115	2.242	250	2.360	245	2	2
Z N	210	2.360	245	2.525	355	2	2

III.3.—Instrumentación

El equipo utilizado para el registro sonoro, en los distintos puntos seleccionados, fue el que se describe a continuación (fig. 5):

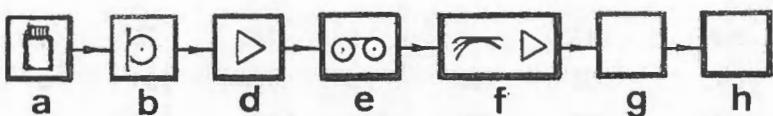


Fig. 5

- a.—Pistófono normalizado con salidas constantes de 114 dB a las frecuencias de 125, 250, 500, 1.000 y 2.000 Hz. para el registro preciso de los niveles de señales en la gama de audio.
- b.—Micrófono de condensador de 1" de diámetro, de campo libre, sensibilidad 50' mV/Pa, tensión de polarización 200 V., gama de frecuencias de 2.6 Hz. — 18 KHz. y gama dinámica 10-148 dB con el preamplificador utilizado.
- c.—Trípode portátil para el micrófono.
- d.—Preamplificador de micrófono adosado a la extensión de cable (3 metros) que une el micrófono con el registrador de cinta magnética.
- e.—Registrador magnético de precisión, provisto de cinta magnética, con respuesta plana en frecuencia entre 0.026 y 10 KHz.
- f.—Amplificador de Medida.
- g.—Registrador de Nivel Sonoro.
- h.—Analizador de distribución estadística. Aparato para resolver el margen de escritura del Registrador de Nivel en 12 intervalos de clase, proporcionando la distribución de los niveles registrados.

III.4.—Recogida y análisis de datos

El micrófono se situó al borde de la calzada, a un mínimo de 3 metros de cualquier superficie reflectante, a una altura de 1.2 m. del suelo y dirigido hacia el flujo de tráfico con un ángulo de aproximadamente 70° sobre la horizontal con el fin de asegurar la omnidireccionalidad a altas frecuencias.

La señal microfónica convenientemente preamplificada se recogió en el Registrador magnético para su posterior análisis.

Previamente a cada registro, se procedió a grabar una señal continua de 114 dB procedente del pistófono con el fin de conseguir el perfecto calibrado de la cinta magnética.

El análisis de cada una de las muestras tomadas en los distintos emplazamientos de la Ciudad, se realizó en el laboratorio de la siguiente manera: Los registros sonoros, se hicieron pasar por el Amplificador de Medida, donde se amplificaron y ponderaron en "A", llevando posteriormente la señal al Registrador de Nivel y de éste, finalmente, al Analizador de distribución estadística. En la fig. 6, se puede apreciar un oscilograma de una parte de un registro sonoro.

Con los datos proporcionados por el Analizador estadístico, se obtuvo el histograma representativo de la variación del nivel sonoro durante el período de la medida. A partir de él, se determinó la dosis de ruido, el nivel sonoro continuo equivalente, los niveles percentiles L_{10} , L_{50} y L_{90} y los niveles TNI, NPL y CR.

En la siguiente página se expone una muestra del análisis estadístico de uno de los 96 registros recogidos. En cada uno de ellos, se escribieron en las casillas de "cuentas acumuladas", las cuentas señaladas en cada una de las 12 ventanillas del Analizador de distribución estadística. El número de cuentas totales en cada registro, fue de 9.000, a razón de 10 cuentas por segundo, dado que la duración de cada registro era de 20 minutos. A continuación se indica, en papel probabilístico, la repartición de los niveles de ruido a lo largo del tiempo. Una vez ajustada la distribución de puntos, se obtiene que para el 10, 50 y 90 % del tiempo respectivamente, quedan determinados los niveles percentiles L_{10} , L_{50} y L_{90} . En la actualidad existen analizadores de nivel sonoro, que muestrean la señal de entrada de forma continua y la dividen en 356 clases de nivel en una gama dinámica de 64 dB y calculan Leq , L_{10} , L_{50} y L_{90} o cualquier otro valor percentil de L , desde L_1 a L_{99} , elegible en saltos de 1.

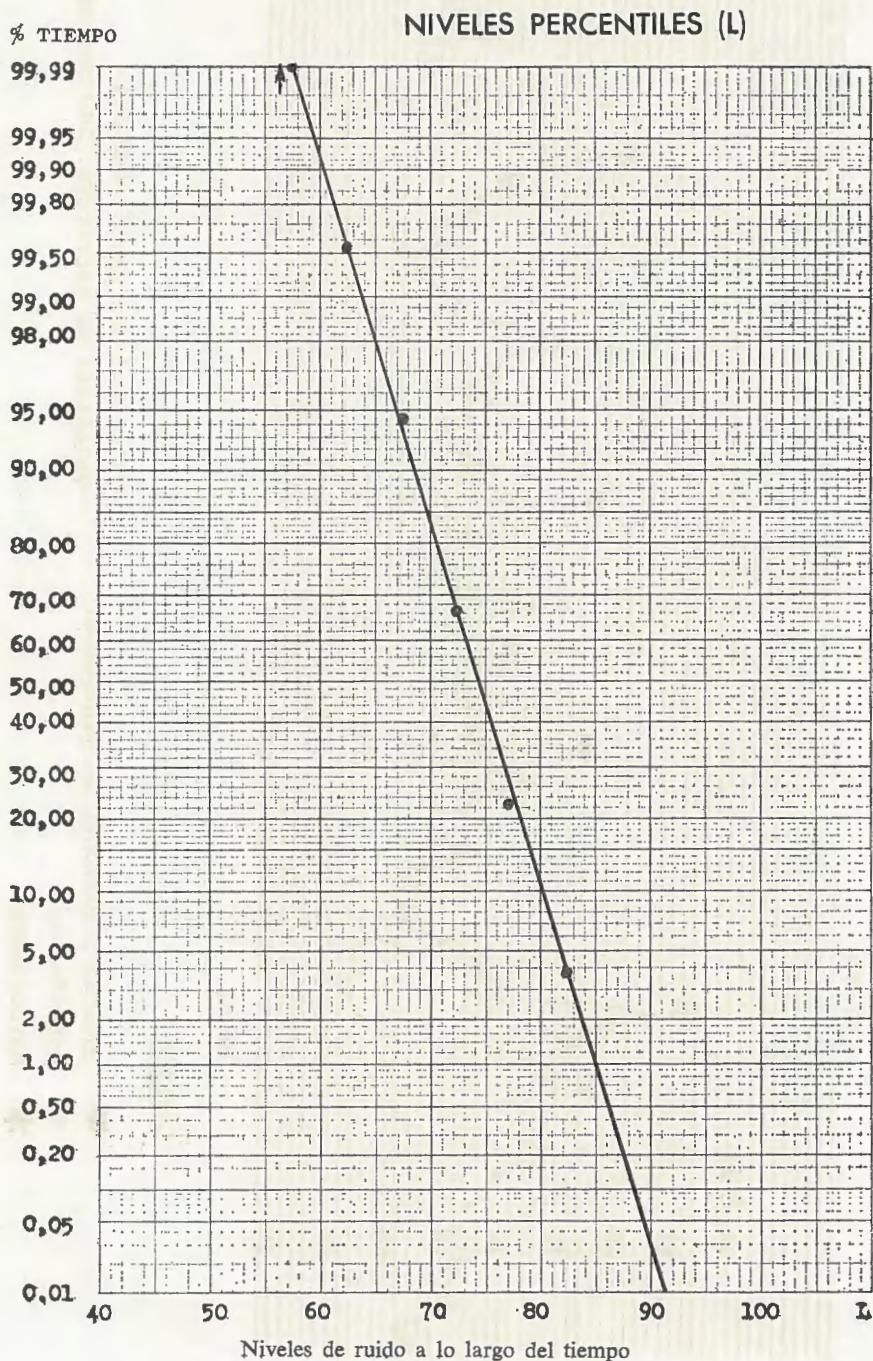
El procedimiento usado para la determinación del Nivel Sonoro Contínuo Equivalente se basa en la exposición parcial de f obtenida, mediante la fórmula:

$$f = \frac{1}{N} \sum n \cdot g$$

donde N es el número total de cuentas que no debe de ser inferior a 1.000 (en nuestros registros: 9.000), n el número de cuentas no acumuladas en cada intervalo y g un factor de ponderación para cada uno de ellos. A partir de los valores parciales de f y previa suma se obtiene el valor de Leq utilizando la escala del nomograma de la fig. 7. La Tabla I, da los valores de "g" correspondientes a los distintos valores del nivel sonoro.

ANALISIS ESTADISTICO									
PROYECTO: EFDLDDESYNDR OPVELCDS -		SITUACION: PUNTO 04 CALLE JESUS DE MONASTERIO							
REGISTRO N.º 48		DURACION: 15 MINUTOS			FECHA: LUNES 14 DE MARZO DE 1.977		HORA: 12,15 MAÑANA		
PERIODO: FEBRERO Y MARZO '77			N.º CUENTAS: 9000 (10 CUENTAS POR SEGUNDO)						
N.º	CUENTAS ACUMULADAS	CUENTAS NO ACUMULADAS	% TIEMPO	ANCHURA	N.º	CUENTAS ACUMULADAS	CUENTAS NO ACUMULADAS	% TIEMPO	ANCHURA
1	9.000	0	100%	<40 dB(A)	7	8.476	2.485	94,17%	65-70 dB(A)
2	9.000	0	100%	40-45 dB(A)	8	5.991	3.976	66,56%	70-75 dB(A)
3	9.000	0	100%	45-50 dB(A)	9	2.015	1.669	22,38%	75-80 dB(A)
4	9.000	0	100%	50-55 dB(A)	10	346	330	3,84%	80-85 dB(A)
5	9.000	42	100%	55-60 dB(A)	11	16	16	0,177%	85-90 dB(A)
6	8.958	428	99,53%	60-65 dB(A)	12	0	0	0%	>90 dB(A)
POTENCIOMETRO: 50 dB(A)				ATENUADOR: BASE 80 dB(A)					
COMENTARIOS					CONDICIONES CLIMATOLOGICAS. -				
TEMPERATURA : 15,4°C									
PRESION : MEDIA , 748 ; OSCILACION 1,6									
VIENTO : DIRECCION DOMINANTE : SUR									
VELOCIDAD MAXIMA : 40 KMS. POR HORA.									
NIVELES DE RUIDO . -									
L ₁₀ = 77 dB(A)			L ₅₀ = 71 dB(A)			L ₉₀ = 66 dB(A)			
L _{eq} = 74 dB(A)			TNI = 82 dB(A)			NPL = 85 dB(A)			

Análisis estadístico de un registro



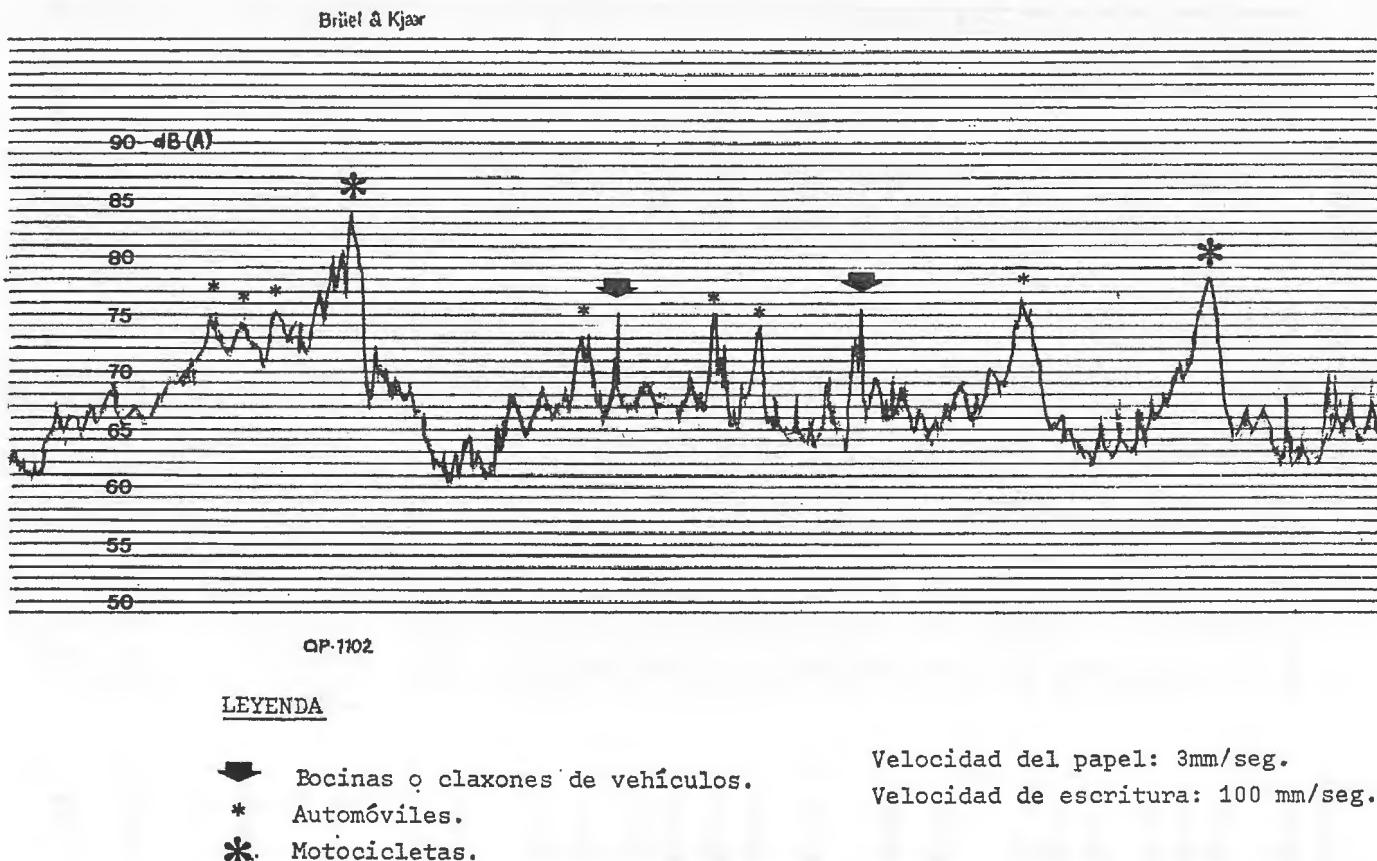


Fig. 6.—Registro del nivel sonoro del ruido de tráfico.

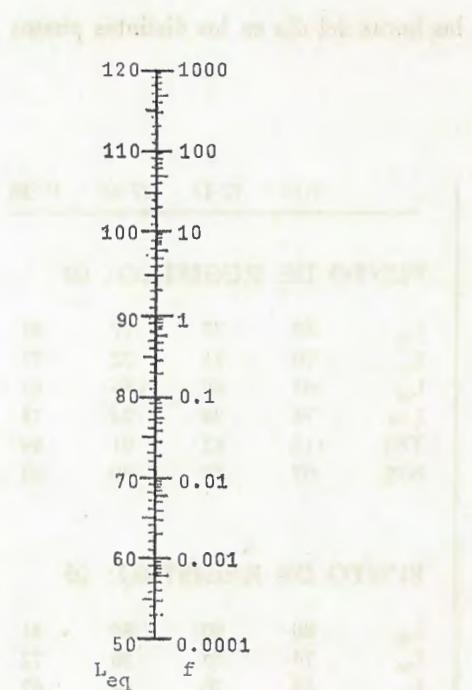


Fig. 7.—Nomograma para el cálculo del Nivel Sonoro Continuo Equivalente.

L	dB(A)	g
40	45	0.000018
45	50	0.000056
50	55	0.00018
55	60	0.00056
60	65	0.0018
65	70	0.0056
70	75	0.018
75	80	0.056
80	85	0.18
85	90	0.56
90	95	1.80
95	100	5.60
100	105	18.00
105	110	56.00
110	115	180.00
115	120	560.00

Tabla I.—Valores de "g" para el cálculo del Leq utilizando análisis estadístico. Anchura del intervalo: 5 dB(A).

Aplicado al caso anterior, resulta $Leq = 74$ dB(A).

El cálculo del Traffic Noise Index (TNI), se realizó a partir de los niveles percentiles L_{10} y L_{90} , mediante la expresión:

$$TNI = 4 (L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30 \quad \text{dB(A)}$$

y el del Noise Pollution Level (NPL), a través de:

$$NPL = L_{50} + (L_{10} - L_{90}) + \frac{(L_{10} - L_{90})^2}{60} \quad \text{dB(A)}$$

y finalmente, el Clima de Ruido (CR), según:

$$NC = L_{10} - L_{90} \quad \text{dB(A)}$$

Los niveles estadísticos medios a las horas del día en los distintos puntos considerados, fueron los siguientes:

	9-10	12-13	17-18	19-20		9-10	12-13	17-18	19-20
PUNTO DE REGISTRO: 00					PUNTO DE REGISTRO: 04				
L ₁₀	82	81	78	81	L ₁₀	83	77	77	81
L ₅₀	75	74	72	74	L ₅₀	70	71	72	73
L ₉₀	68	66	65	66	L ₉₀	63	66	66	65
Leq	77	78	75	78	Leq	74	74	74	78
TNI	94	95	87	96	TNI	113	82	91	99
NPL	92	92	88	92	NPL	97	85	89	93
PUNTO DE REGISTRO: 01					PUNTO DE REGISTRO: 05				
L ₁₀	79	91	80	97	L ₁₀	80	80	80	81
L ₅₀	72	81	73	83	L ₅₀	74	75	70	72
L ₉₀	65	73	67	75	L ₉₀	69	70	62	62
Leq	76	86	75	88	Leq	78	77	74	80
TNI	93	115	89	133	TNI	83	80	104	108
NPL	90	104	89	113	NPL	87	87	93	97
PUNTO DE REGISTRO: 02					PUNTO DE REGISTRO: 06				
L ₁₀	76	79	80	80	L ₁₀	79	81	77	80
L ₅₀	67	73	67	75	L ₅₀	73	76	70	72
L ₉₀	52	67	60	70	L ₉₀	68	70	63	66
Leq	71	75	69	80	Leq	76	78	72	77
TNI	118	83	110	80	TNI	82	82	89	92
NPL	101	87	94	87	NPL	87	88	87	89
PUNTO DE REGISTRO: 03					PUNTO DE REGISTRO: 07				
L ₁₀	75	79	79	81	L ₁₀	81	81	79	81
L ₅₀	66	73	73	73	L ₅₀	73	73	70	74
L ₉₀	53	66	67	65	L ₉₀	66	64	62	67
Leq	71	74	75	77	Leq	78	78	76	78
TNI	111	88	85	99	TNI	96	101	100	93
NPL	97	88	87	93	NPL	92	94	92	91

	9-10	12-13	17-18	19-20		9-10	12-13	17-18	19-20
PUNTO DE REGISTRO: 08					PUNTO DE REGISTRO: 13				
L_{10}	81	79	80	82	L_{10}	77	81	76	79
L_{50}	72	75	71	73	L_{50}	72	74	70	69
L_{90}	62	71	63	66	L_{90}	66	67	63	61
Leq	77	78	77	78	Leq	74	78	72	75
TNI	108	73	103	100	TNI	82	93	85	102
NPL	97	84	94	93	NPL	85	91	86	93
PUNTO DE REGISTRO: 09					PUNTO DE REGISTRO: 14				
L_{10}	75	80	77	81	L_{10}	81	80	81	80
L_{50}	69	74	70	72	L_{50}	73	74	73	73
L_{90}	59	69	63	67	L_{90}	66	69	65	66
Leq	72	77	73	77	Leq	77	78	77	76
TNI	87	83	91	93	TNI	94	85	100	93
NPL	86	88	89	89	NPL	91	88	94	91
PUNTO DE REGISTRO: 10					PUNTO DE REGISTRO: 15				
L_{10}	81	79	76	81	L_{10}	77	77	80	77
L_{50}	72	73	72	74	L_{50}	69	72	67	70
L_{90}	63	67	66	68	L_{90}	61	67	59	63
Leq					Leq	74	74	69	74
TNI	103	85	76	90	TNI	95	75	113	89
NPL	95	87	83	90	NPL	89	83	95	87
PUNTO DE REGISTRO: 11					PUNTO DE REGISTRO: 16				
L_{10}	79	80	80	79	L_{10}	79	79	78	78
L_{50}	70	72	71	72	L_{50}	67	74	68	72
L_{90}	64	67	66	67	L_{90}	60	68	60	67
Leq					Leq	74	76	69	74
TNI	94	89	92	85	TNI	106	82	102	79
NPL	89	88	89	86	NPL	92	87	91	85
PUNTO DE REGISTRO: 12					PUNTO DE REGISTRO: 17				
L_{10}	77	77	77	77	L_{10}	79	77	77	78
L_{50}	71	70	70	71	L_{50}	67	69	62	73
L_{90}	65	64	63	64	L_{90}	60	61	53	67
Leq	73	75	72	75	Leq	69	74	66	75
TNI	81	87	89	84	TNI	106	95	119	83
NPL	85	87	87	86	NPL	92	89	96	87

	9-10	12-13	17-18	19-20		9-10	12-13	17-18	19-20
PUNTO DE REGISTRO: 18					PUNTO DE REGISTRO: 22				
L ₁₀	72	79	78	77	L ₁₀	76	78	76	70
L ₅₀	61	71	70	62	L ₅₀	67	70	69	63
L ₉₀	52	62	63	53	L ₉₀	56	61	61	56
Leq	67	75	75	66	Leq	71	75	74	68
TNI	102	99	95	119	TNI	106	99	98	82
NPL	88	93	90	96	NPL	94	92	91	80
PUNTO DE REGISTRO: 19					PUNTO DE REGISTRO: 23				
L ₁₀	79	78	70	77	L ₁₀	77	93	75	76
L ₅₀	66	71	63	70	L ₅₀	71	75	66	68
L ₉₀	59	62	56	64	L ₉₀	63	68	54	61
Leq	69	74	68	75	Leq	73	82	71	73
TNI	109	96	82	85	TNI	89	138	108	91
NPL	93	91	80	86	NPL	88	110	94	87
PUNTO DE REGISTRO: 20					PUNTO DE REGISTRO: 24				
L ₁₀	77	79	75	79	L ₁₀	77	82	77	77
L ₅₀	67	71	65	72	L ₅₀	69	74	70	68
L ₉₀	58	63	54	66	L ₉₀	61	67	62	59
Leq	74	75	73	76	Leq	73	78	73	74
TNI	103	95	111	88	TNI	98	95	93	101
NPL	92	90	95	88	NPL	91	93	89	91
PUNTO DE REGISTRO: 21									
L ₁₀	80	80	77	77					
L ₅₀	73	75	72	69					
L ₉₀	65	70	67	62					
Leq	76	78	75	73					
TNI	95	80	79	94					
NPL	92	87	84	89					

IV.—DISCUSIÓN

Como resultado de nuestras medidas hemos conseguido una descripción actual del medio ambiente acústico en una amplia zona de la ciudad de Santander.

Para probar la validez de las predicciones que ofrece el modelo desarrollado, se compararon los valores teóricos con los experimentales.

Los resultados para el punto de cuya información se ha venido dando cuenta en este artículo, se indican a continuación:

HORAS	9 - 10	12 - 13	17 - 18	19 - 20				
NIVEL	Valor teórico dB(A)	Valor experimental dB(A)						
L_{10}	79.7	79	81.2	80	80.6	80	81.9	79
L_{50}	69.3	70	71.4	72	70.7	71	72	72
L_{90}	63.7	64	67.7	67	66.1	66	69.9	67
TNI	97.9	94	91.6	89	94.1	92	87.9	85
NPL	93.4	89	91.1	88	92	89	89.8	86
CR	16.1	15	13.5	13	14.5	14	12	12

La fig. 8, muestra gráficamente la recta de regresión $Y_e = 0.91 Y_t + 5.95$ entre los valores experimentales y teóricos, siendo el coeficiente de correlación $r = 0.98$.

En general podemos decir que el modelo utilizado describe con suficiente exactitud los niveles medios de ruido.

Como inconvenientes hemos observado que presenta cierta tendencia a dar valores inferiores a los experimentales en las calles de sentido único de circulación, habiendo encontrado discrepancias en el L_{50} de hasta 4 dB(A). Asimismo los resultados que predice para el L_{10} difieren significativamente de los experimentales ya que sólo un 20 % de los coeficientes de correlación superaron el valor $r = 0.65$.

Una vez más confirmamos que el valor máximo diurna $L_{10} = 70$ dB(A) que sugiere el Wilson Report se queda muy corto ya que hemos encontrado que un 90 % de nuestras medidas dan valores superiores, resultado plenamente coherente con el que dan para Turín Benedetto y Spagnolo (9) del 85 %.

Por último, para el Nivel Sonoro Contínuo Equivalente, se aprecian en general valores muy altos. Así, en el punto que se ha venido reseñando, resulta un Leq de 74 dB(A) que si se lleva a la gráfica de la fig. 9, nos indica una "acción poderosa del ruido", con una sensación altamente molesta para un 55 % de los individuos, lo que es un claro exponente del deterioro del ambiente acústico que se da en las vías urbanas de Santander estudiadas.

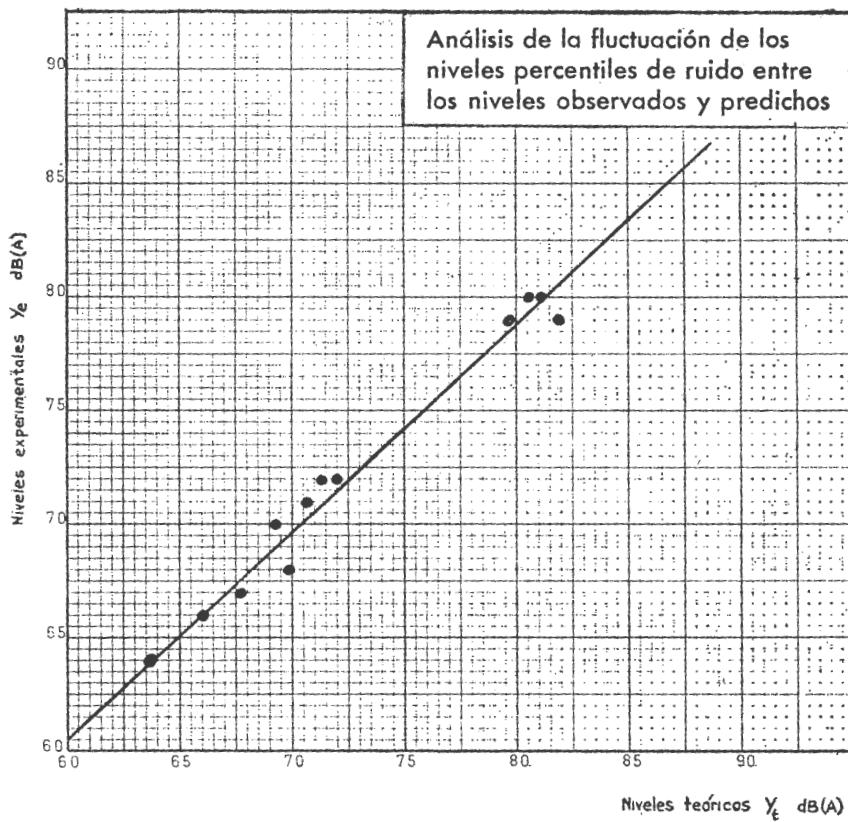


Fig. 8

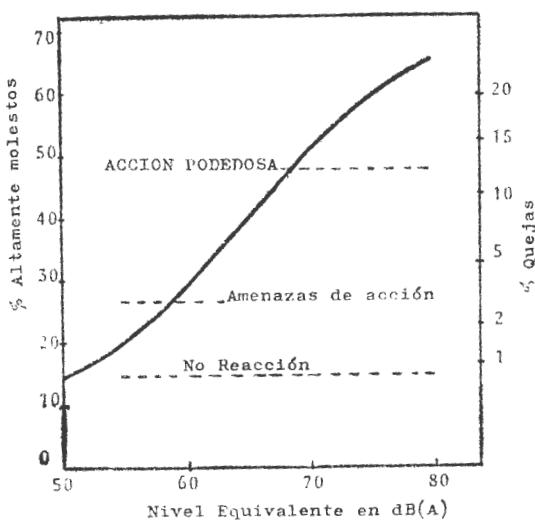


Fig. 9

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Jacques B. Malchaire. Université Catholique De Louvain, 1200, Bruxelles. Belgium.—Sanford W. Horstman. Kettering Laboratory, University of Cincinnati, Cinc., Ohio 45219.
- 2) C. Drew, Traffic Flow Theory and Control. Mac Graw-Hill, New York, 1971.
- 3) E. A. Shaw and N. Olson.—Theory of steady - state urban noise for an ideal homogeneous city. *J. Acoust. Soc. Am.* 51, 1781 - 1793. 1972.
- 4) G. R. Atherdey y A. Martín (1971). Equivalent Continous noise level as a measure of injury from impulse noise. *Annals of Occupational Hygiene*, 14, 11-28.
- 5) L. Beranek.—Acoustics.
- 6) I.S.O. Recommendation. R1999 (1971). Assessment of occupational noise exposure for hearing conversation purposes.
- 7) Traffic Noise, major urban roads. G. L. C. Urban Design Bulletin 1, March 1970.
- 8) Noise Final Report.—Committee on the problem of noise. Stationneny Office, Londres, 1963.
- 9) G. Benedetto and R. Spagnolo. Traffic Noise Survey of Turin, Italy. *Applied Acoustics*. (10). (1,977).

RESUMEN

Hacemos un estudio sintaxonómico, estructural, ecológico, florístico (especies características y compañeras) y corológico de las comunidades de las plantas superiores que se asientan sobre las marismas de la costa de Cantabria (bahías, estuarios, desembocaduras de los ríos o rías, etc.). Vegetación, totalmente influenciada y condicionada a la salinidad del mar, en la que hemos podido diferenciar las cinco clases siguientes: *Zosteretea*, *Spartinetea maritimae*, *Thero - Salicornietea strictae*, *Arthrocnemetea fruticosae* y *Juncetea maritimii*, con sus unidades inferiores; en algún caso hemos llegado a la subasociación.

SUMMARY

A syntaxonomie, structural, ecological, floristical (species, characteristics and companions) and chorological study is made of the communities of the superior plants which are settled in the marshes of the Cantabrian coast (bays, estuaries, river mouth, etc.). This vegetation is completely influenced and conditioned by the sea salinity. We could recognize five different types (class), which are: *Zosteretea*, *Spartinetea maritimae*, *Thero - Salicornietea strictae*, *Arthrocnemetea fruticosae* y *Juncetea maritimii*, with their infirior units; in some cases we have identified the subassociation.

INTRODUCCIÓN

En esta vegetación permanente, se incluyen las comunidades vegetales existentes en las marismas que encontramos en nuestros estuarios, bahías o desembocaduras de los ríos y rías de nuestra costa santanderina. Zonas que se pueden extender varios cientos de metros o aún de kilómetros hacia el interior, pues como sedimentos bajos que son, la pendiente es muy escasa, por lo que la superficie intermareal o subidas y bajadas de las mareas ocupan áreas muy extensas.

Son estas las típicas comunidades halófilas, praderas salinas o saladares, sobre suelos de tipo solontschak ricos en sales (cloruro sódico y carbonatos alcalino - téreos). Estos suelos, siempre húmedos y más o menos encharcados con aguas salinas, son para las plantas fisiológicamente secos, hiperxerofíticos y la vegetación que se forma está totalmente influenciada y condicionada a la salinidad del mar. En ellos, la concentración de iones solubles es superior al 2,5 %; siendo los cationes y aniones más abundantes: Na^+ , K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} y Cl^- y $\text{SO}^{=}$, respectivamente. Su materia orgánica, en su nivel superior, se encuentra acumulada debido a que por la anaerobiosis, está sin consumir, por lo que la relación carbono - nitrógeno alcanza valores muy altos.

En general, estas plantas halófitas o especies adaptadas a la sal, suelen ser suculentas o bien están desprovistas de hojas o las tienen reducidas a esamas y en sus tejidos se producen presiones osmóticas elevadas que alcanzan, incluso a veces, las 100 atmósferas. En algunas de ellas se da la excreción de sales por las hojas.

Entre todas las marismas existentes en Cantabria (véase fig. 1), las más amplias y que aún hoy día se conservan buena parte de ellas, son las de San Vicente de La Barquera y las de las rías de Santoña, Treto y Limpias. La de la bahía de Santander, antiguamente quizás la mayor, hoy casi ya ha desaparecido o está muy modificada, quedando únicamente en buen estado pequeñas áreas de ella, como las de Pedreña y Astillero principalmente. Refirién-

donos a esta marisma, podemos apreciar como dos especies adventicias, fisonómicamente muy llamativas, cultivadas en los jardines, se han asilvestrado perfectamente en sus suelos: La *Cortaderia selloana* (plumeros), procedente de Sudamérica y la *Baccharis halimifolia*, introducida en Europa en 1683 procedente de Norteamérica. Ambas, las vemos profusamente en muchas de las marismas de nuestra costa. Anteriormente a nosotros, GUINEA (1953 a: 251 - 254) y (1953 b: 561 - 568), estudia las marismas de la bahía de Santander y las de la ría de Limpias.

MAR CANTABRICO

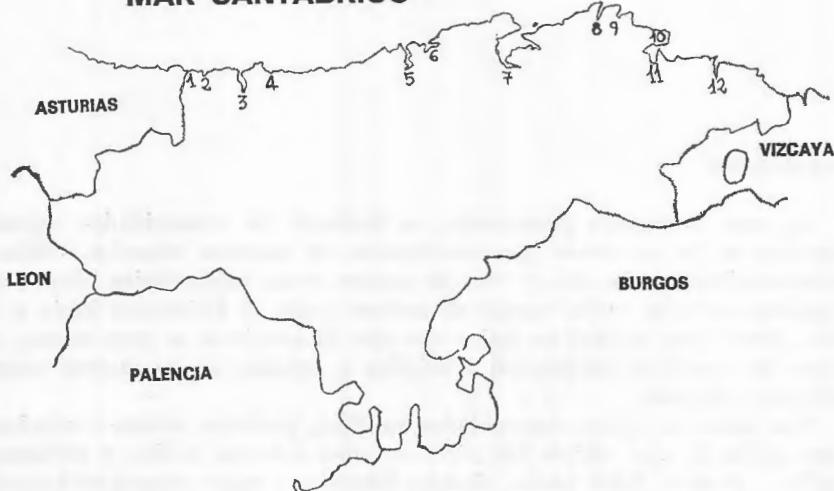


Fig. 1.—Marismas más importantes de Cantabria.

1, Marisma del río Deva; 2, del río Nansa; 3, de San Vicente de La Barquera; 4, de La Rabia; 5, de los ríos Saja y Besaya; 6, del río Pas; 7, de Santander; 8, de la ría de Ajo; 9, de Soano; 10, de Helgueras; 11, de las rías de Santoña, Treto y Limpias y 12, de la ría de Oriñón.

Seguidamente, vamos a describir, más o menos sucintamente, la sintaxonomía, estructura, ecología, especies características y compañeras y corología de las comunidades existentes en ellas y siempre referidas a las plantas superiores. Para lo cual, aparte de nuestros estudios y observaciones directas, nos hemos valido exclusivamente de las obras que hemos relacionado en la bibliografía que incluimos al final de este trabajo. También hemos añadido dos esquemas de dos disposiciones catenales de la vegetación halófila existente en ellas (fig. 2).

Las comunidades que hemos encontrado, en algún caso hemos llegado a la subasociación, están reunidas en las cinco clases (sintaxones superiores del sistema de Braun - Blanquet que seguimos) siguientes: *Zosteretea*, *Spartinetea*

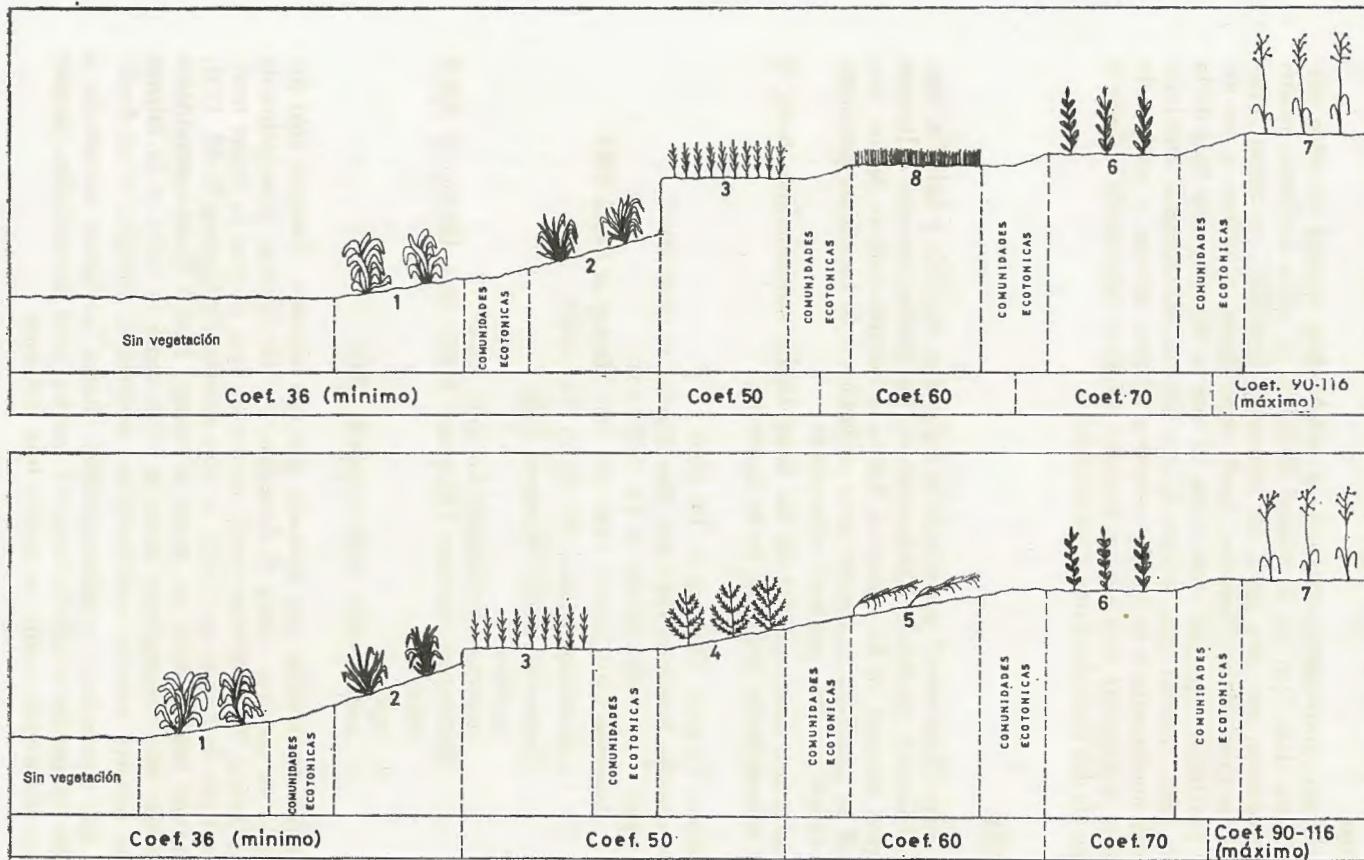


Fig. 2.—Dos disposiciones catenales de la vegetación halófila (haloserie) de las marismas de Cantabria; con los coeficientes aproximados o alturas que alcanza cada marea, según las asociaciones que cubre: 1, *Zosteretum marinae*; 2, *Zosteretum noltii*; 3, *Spartinetum maritimae*; 4, *Salicornietum europaeae*; 5, *Salicornietum radicans*; 6, *Halimionetum portulacoidis*; 7, *Junco - Carectum extensa*; 8, *Puccinellietum maritimae*. Ejemplos que pueden servir, con ligeras variaciones, sobre todo respecto a los coeficientes de las mareas, para todo el litoral de Cantabria.

maritimae, Thero - Salicornietea strictae, Arthrocnemetea fruticosae y Juncetea maritimi.

Por último, proponemos que, por su notabilidad, algunos de estos amplios, variados, ricos (por su diversidad biológica) y bellos conjuntos marismenos, ecosistemas, por otra parte, de extremada fragilidad, se hagan reservas biológicas provinciales. Nosotros, desde estas líneas, animamos a los organismos provinciales que las creen antes de que se degraden aún más de lo que están, pues, creemos que, incluso lo que hoy ya encontramos deteriorado, volvería nuevamente a su estado primitivo en poco tiempo, y unido a lo ya existente, compondría todo ello un singular paisaje y laboratorio viviente a disposición de los investigadores y naturalistas.

ZOSTERETEA

Esta clase (*Zosteretea*), comprende la vegetación higrófila y halófila, bentónica (halobentos), enraizada (rizobentos), de los fondos arenosos o limosos de las aguas marinas de los estuarios, bahías o desembocaduras de los ríos. En general, se desarrolla en lugares poco profundos o de escasísima pendiente (lugares vados) y forma praderas submarinas.

La estructura sintaxonómica de las comunidades santanderinas, hasta el rango de subasociación inclusive, es la siguiente:

Zosteretea Pignatti 1953 em. J. Tx. 1960

Zosteretalia Béguinot 1941 em. Den Hartog et segal 1964
(incl. *Zosteretalia* Br.-Bl. et Tx. 1943 p.p.)

Zosterion Christiansen 1943 em. Den Hartog et Segal 1964

(=*Zosterion marinae* Br.-Bl. et Tx. 1943)

Zosteretum noltii Harmsen 1936

typicum

zosteretosum marinae Loriente 1974

Zosteretum marinae (Borgesen 1905) Den Hartog et Segal
1964

typicum

zosteretosum noltii Loriente 1974

El orden *Zosteretalia* está formado por dos alianzas. Nosotros sólo hemos hallado en nuestras costas el *Zosterion*, de distribución, principalmente boreo - atlántica. El *Zosteretum noltii* parece ser que alcanza su límite meridional conocido de Europa en Cádiz. La otra alianza, *Posidionion* Br.-Bl. 1931, de localización mediterránea, no existe en nuestro litoral. Estas comunidades oligófitas son muy homogéneas, tanto la clase como el orden y la alianza tienen las mismas especies características, estructura, ecología y corología.

Las dos asociaciones y subasociaciones citadas las hemos encontrado y reconocido claramente a todo lo largo de nuestra costa santanderina, aunque la primera, *Zosteretum noltii*, es mucho más frecuente.

La *Zosteretum noltii*, su única especie característica es la *Zostera noltii* Hornem (= *Z. nana* Roth), se encuentra sumergida a escasa profundidad en las pleamaras, pero siempre queda al descubierto en las bajamaras por pequeñas que sean. La *Zosteretum marinae* aparece siempre sumergida bajo las aguas, incluso en las bajamaras de mareas excepcionales de fuertes coeficientes, tan sólo aflora la *Zostera marina* L. (su única característica), semisumergida en las aguas salobres. Por todo lo anterior, la primera asociación siempre ocupa las posiciones más cercanas a tierra, y la segunda las más alejadas. Cuando estas asociaciones están una a continuación de la otra es cuando, por ecotónia, se forman las dos subasociaciones que hemos indicado más arriba; es decir, cuando la *Zostera marina* penetra en el *Zosteretum noltii*, o bien cuando la *Zostera noltii* aparece dentro del *Zosteretum marinae*.

También son muy claras las diferencias referentes al suelo en que se asientan. Los del *Zosteretum noltii*, son limosos o arenoso-fangosos, incluso la hemos visto en suelos casi totalmente arenosos, en cambio, el *Zosteretum marinae* crece en terrenos francamente fangosos, con substrato de arcilla plástica fuertemente hidratada y muy ricos en materias orgánicas; estos suelos son muy fluidos, de color negruzco y con un espesor del horizonte del humus de hasta 130 cm. o aún mayor. El humus del *Zosteretum marinae* es de tipo Sapropel marino, Kubiena (1952). A efectos prácticos la diferenciación de ambos tipos de suelo es sencilla, los del *Zosteretum marinae* se hunden al andar sobre ellos, por ser muy blandos, mientras que los de la *Zosteretum noltii* son, generalmente, firmes y bastante más secos, y sobre ellos se camina sin ninguna dificultad.

Respecto a la *Zostera marina* L., de la que se dan dos variedades (*Z. marina* L. var. *marina* y *Z. marina* L. var. *stenophylla* Aschers & Graebner), no encontramos, al menos en esta zona en que trabajamos, diferencias claras entre las dos pretendidas variedades, ya que en condiciones ecológicas homogéneas aparecen individuos intermedios tanto en lo referente a la anchura y la longitud de sus hojas como respecto al número de nervios de las mismas, por ello hemos preferido no diferenciar ambas variedades y englobarlas en la clásica *Zostera marina* L.

En la costa atlántica española estas comunidades han sido estudiadas por BELLOT (1966: 32) en La Toja y en el Miño, CASTROVIEJO (1975: 60-61) en Pontevedra, DIAZ (1974-1975: 397) en Asturias y por nosotros, LORIENTE (1974: 179-184 y 189), en la costa de Cantabria.

SPARTINETEA MARITIMAE

Comunidades (clase *Spartinetea maritimae*) halófilas, de carácter pionero y vivaz que forman pastizales helo-halofíticos (espartinales marítimos) sobre suelos fangosos y salinos. Sus formaciones están constituidas por gramíneas hiperhalófilas (comunidades generalmente puras) del género *Spartina* que, en nuestras costas santanderinas, aparece representado por dos especies, la frecuentísima *S. maritima* (Curt.) Fernald (= *S. stricta* (Ait.) Roth.) y la rara *S. alterniflora* Loisel. Ambas viven en las marismas de los estuarios, bahía y desembocaduras de los ríos.

Estos espartinales marítimos, que vemos en las marismas, forman como islas, completamente planas, de mayor o menor tamaño, asentadas sobre un suelo menos fangoso y sumergido que el que las rodea, el cual aparece desnudo de especies cormófitas o cubierto por comunidades de *Zosteretea*. La *Spartinetea* que, como ya hemos dicho, se encuentra más alta que la *Zosteretea*, está aproximadamente a la misma altura que la *Thero-Salicornietea strictae* y más baja que la *Arthrocnemetea fruticosae* y *Juncetae maritimi*, comunidades que viven junto a ella.

En estos espartinales viven diversas especies de algas y cormófitos de las comunidades contiguas anteriormente citadas, dando lugar por ecotónia a diversas subasociaciones. Entre estas especies ecotónicas hemos observado: *Halimione portulacoides*, *Salicornia europaea*, *Aster tripolium*, etc.

La estructura sintaxonómica de los espartinales marítimos santanderinos es la siguiente:

Spartinetea maritimae (Tx. 1961) Beeftink, Géhu, Ohba et Tx. 1971

Spartinetalia maritimae (Conard 1935) Beeftink, Géhu, Ohba Tx. 1971

Spartinion maritimae (Conard 1935) Beeftink, Géhu, Ohba et Tx. 1971

Spartinetum maritimae (Béguinot 1941) Corillion 1953

Spartinetum alterniflorae Corillion 1953

La primera asociación es prácticamente la que existe en este litoral, en todas sus marismas, formando magníficos pastizales con grados de cobertura muy variable, desde el 10 hasta el 90 por 100. La segunda asociación, *Spartinetum alterniflorae*, es mucho más rara que la anterior, habiéndola encontrado solamente en cuatro marismas y siempre en pequeños y escasos rodales (ría de Astillero, ría de Cubas, Soano y Oriñón). Esta comunidad se encuentra en suelos más altos y próximos a la costa que los de la anterior, por lo que en mareas muertas, de bajos coeficientes, el mar no llega a cubrirla. Queremos aclarar, respecto a esto último, que el *Spartinetum maritimae* la cubren totalmente, sólo las mareas cuyos coeficientes están por encima de 50, y nunca menores, y el *Spartinetum alterniflorae* queda sumergida bajo las aguas con mareas cuyos coeficientes están por encima de 70, aproximadamente. Esto nos demuestra que la mitad del año, aproximadamente, queda el *Spartinetum alterniflorae* bajo las aguas, y que, por tanto, es menos halófila que la *Spartinetum maritimae*, que se queda sin cubrir solamente durante unos 50 días.

En la costa atlántica española estas comunidades han sido estudiadas por BELLOT (1951: 419) y por CASTROVIEJO (1975: 59) en la ría de Arosa y en la desembocadura del Miño y por nosotros. LORIENTE (1974: 185-189), en la costa de Cantabria. Estas comunidades se extienden por todo el litoral europeo.

THERO - SALICORNIETEA STRICTAE

La estructura sintaxonómica, en Cantabria, es la siguiente:

Thero - Salicornietea strictae Tx. 1954

Thero - Salicornietalia strictae Tx. 1954

Thero - Salicornion strictae (Br.-Bl. 1933) Tx. 1954

Salicornietum europaeae Fontes 1945

typicum

Spartinetosum maritimae Loriente subas. *nova*

Vegetación de terófitos herbáceos y suculentos, poco densa, pionera, sobre suelos fangosos, limosos, hipersalinos, cubiertos generalmente por un cúmulo de restos orgánicos y de conchas abandonadas, debido a que temporalmente son inundados, muchos días del año, por las subidas de las mareas, y muy ricos en sales solubles, principalmente, cloruros alcalinos, como el cloruro sódico. Aparece en verano, en muy pequeñas áreas, a la misma altura o algo más altas, dentro de la catena marismeña, que la *Spartinetea maritimae* y junta y anterior a la comunidad contigua más alta, la *Arthrocnemetea fruticosae*.

Comunidades que como las anteriores se asientan en las marismas de los estuarios, bahías y desembocaduras de las rías costeras de Europa, desde las costas mediterráneas hasta el Báltico. También, en esta clase, se incluye la vegetación de los bordes de las lagunas salinas interiores sobre suelos solonchak, pero en nuestra región no existen. Tanto la clase (*Thero - Salicornietea strictae*), como el orden (*Thero - Salicornietalia strictae*), como la alianza (*Thero - Salicornion strictae*) y la asociación (*Salicornietum europaeae*), tienen la misma ecología, corología y especies características.

Aparte de las especies características, en la *Salicornietum europaeae*, hemos encontrado como compañeras, además de algunas algas, otros cormófitos de las comunidades contiguas, dando lugar, por ecotónia, a diversas subasociaciones; como por ejemplo con la *Spartina maritima*, el *Arthrocnemum perenne*, el *Limonium vulgare*, el *Aster tripolium*, etc.

Como ejemplo de subasociación ecotónica, hemos levantado un inventario en la marisma de la ría de La Rabia, el 3 de septiembre de 1974.

Subasociación *spartinetosum maritime*

Número de inventario	...	...	...	...	...	1
Area en M. ²	...	...	...	...	...	10
Cobertura en %	...	...	...	...	...	40
Número de especies	...	...	...	...	...	3

Características de asociación
y unidades superiores:

Salicornia europaea L. 3.4

Suaeda maritima (L.) Dumort +.1

Especie ecotónica, diferencial de
la subasociación:

Spartina maritima (Curt.) Fernald 1.1

Especies que hemos encontrado en estos saladeros húmedos de Cantabria:

Características de la clase y de sus unidades inferiores:

Salicornia europaea L.
(= *S. herbacea* (L.) L.)
Suaeda maritima (L.) Dumort.

Compañeras:

Arthrocnemum fruticosum (L.) Moq.
Arthrocnemum perenne (Miller) Moss
Aster tripolium L.
Atriplex hastata L.
Halimione portulacoides (L.) Aellen
Limonium vulgare Miller
Puccinellia maritima (Huds.) Parl.
Spartina maritima (Curt.) Fernald
Spergularia media (L.) C. Presl

En nuestras marismas, la especie dominante y más abundante es la *Salicornia europaea* que muchas veces la podemos encontrar formando una comunidad pura o casi pura.

Citada la asociación numerosas veces en el litoral atlántico europeo, en el Cantábrico es estudiada por TUXEN & OBERDORFER (1958: 24-26), en Galicia por BELLOT (1966: 64-66) y por CASTROVIEJO (1975: 58-59) y en Asturias por DIAZ (1974-1975: 434).

ARTHROCNEMETEA FRUTICOSAE

La estructura sintaxonómica, en Cantabria, de esta clase, es la siguiente:

Arthrocnemetea fruticosae Br.-Bl. & Tx. 1943
Arthrocnemetalia fruticosae Br.-Bl. 1931
Halimionion portulacoidis Géhu 1975
Salicornietum radicans Fontes 1945
Halimionetum portulacoidis Kühnholz - Lordat 1927

Vegetación vivaz y subfrutecente de los fangos salados del Mediterráneo y Mediterráneo-Atlántico; con un hábitat, ecología y corología que difieren muy poco de la clase *Thero-Salicornietea strictae*. Sus suelos que se encuentran algo más altos que los de esta última comunidad, son algo más secos, pues las mareas los cubren durante menos tiempo, resquebrajándose al desecarse durante el verano por el calor; muchos días no son tapados por el agua, cuando los coeficientes de las mareas son medianos o pequeños. Tanto la clase *Arthrocnemetea fruticosae* como sus unidades inferiores, el orden *Arthrocnemetalia fruticosae* y la alianza *Halimionion portulacoidis*, tienen las mismas especies características, ecología y corología y se disponen, en la catena marismeña, algo más bajas que la clase *Juncetea maritimae*, la comunidad más

alta de la marisma e indicadora del límite máximo de la marea en sus más fuertes plemares.

En Cantabria, en el seno de estas comunidades, hemos encontrado dos asociaciones: La *Salicornietum radicantis*, cuya especie característica es el *Arthrocnemum perenne* que domina absolutamente, pues es una asociación muy pura y la *Halimionetum portulacoidis* con el *Halimione portulacoides* como especie más característica y dominante aunque con otras también características muy frecuentes y abundantes: *Arthrocnemum fruticosum*, *Aster tripolium*, *Limonium vulgare*, etc.

En esta segunda asociación, como en el caso de la clase anterior, también viven algas y cormófitos de las comunidades contiguas (*Salicornia europaea*, *Suaeda maritima*, *Juncus maritimus*, *Puccinellia maritima*, etc.), dando lugar a diversas subasociaciones. Además, también es normal la formación de diferentes facies.

La *Salicornietum radicantis*, BELLOT (1966: 66 - 67) y CASTROVIEJO (1975: 59), la citan en Galicia. Del *Halimionetum portulacoidis*, tenemos la cita que da RIVAS - MARTINEZ (1974: 4) para Asturias.

Especies características de la clase y unidades inferiores que hemos encontrado en Cantabria:

- Arthrocnemum fruticosum* (L.) Moq.
(=*Salicornia fruticosa* (L.) L.)
Arthrocnemum perenne (Miller) Moss
(=*Salicornia perennis* Miller; *S. radicans* Sm.)
Aster tripolium L.
Frankenia laevis L.
Halimione portulacoides (L.) Aellen
Suaeda vera J. F. Gmelin
(=*S. fruticosa* auct.)

Las especies compañeras más importantes, son las siguientes:

- Agropyron pungens* (Pers.) Roem. & Schult.
Armeria maritima (Miller) Willd.
Aster squamatus (Sprengel) Hieron.
Atriplex hastata L.
Festuca rubra L. subsp.
Inula crithmoides L.
Juncus maritimus Lam.
Limonium vulgare Miller
Plantago maritima L.
Puccinellia maritima (Huds.) Parl.
Salicornia europaea L.
Spergularia media (L.) C. Presl
Suaeda maritima (L.) Dumort.
Triglochin maritimum L.

JUNCETEA MARITIMI

En este paisaje vegetal incluimos la vegetación permanente situada predominantemente en las zonas marismeñas más altas. Su estructura sintaxonómica, en Cantabria, es la siguiente:

- Juncetea maritimi* Br.-Bl. (1931) 1952 (= *Asteretea tripolii* Westhoff et Beeftink 1962)
- Juncetalia maritimi* Br.-Bl. 1931 (= *Glauco-Puccinellietalia maritimae* Beeftink et Westhoff 1962)
- Puccinellion maritimae* Christiansen 1927 em. Tx. 1937
- Puccinellietum maritimae* (Warming 1890) Christiansen 1927
- Armerion maritimae* Br.-Bl. et De Leeuw 1936
- Junco-Caricetum extensae* Br.-Bl. et De Leeuw 1936
- ¿*Oenanthe-Juncetum maritimi* Tx. 1937?

Comprende la vegetación (*Juncetea maritimi*) de las praderas saladas y blandas de las costas, sobre fangos que, más o menos intermitentemente, son cubiertos por las aguas del mar (marjales salinos). Pastizales menos halófilos que los descritos anteriormente, por estar más altos y por ende, menos tiempo tapados por las pleamaras. Sus suelos son profundos, ricos en carbonatos y sales, a base de sulfatos y cloruros, y con una humedad edáfica permanente, inclusive en verano.

En su estructura, predominan los caméfitos junceiformes y graminiformes, acompañados de terófitos y constituidos, generalmente, por gran número de individuos de una misma especie.

La corología de esta comunidad abarca las costas de la región Mediterránea y de la Atlántica, en las marismas que se forman en las desembocaduras de los ríos o rías, bahías, estuarios, etc.

Dentro del orden (*Juncetalia maritimi*), comunidad con la misma estructura, ecología y corología que la clase, denunciamos dos alianzas:

La primera, la *Puccinellion maritimae*, representada por la asociación *Puccinellietum maritimae*, se encuentra en las zonas más bajas (como excepción de lo dicho anteriormente), generalmente, junto a la *Thero-Salicornietea strictae* en las zonas más extendidas hacia el mar abierto. La especie que la caracteriza es la *Puccinellia maritima* (Huds.) Parl. (= *Glyceria maritima* (Huds.) Wahlb.) gramínea que domina de un modo absoluto las áreas formadas por estas praderas uniformes, graminiformes, saladas y rasas. Asociación que muy frecuentemente forma subasociaciones con las especies compañeras de las comunidades contiguas. Igualmente es corriente encontrarse en estos pastizales diferentes facies.

La segunda alianza, la *Armerion maritimae*, comprende los jenuinos marjales salinos y costeros, praderas juncales o junqueras cerradas, de suelos fangosos, arcillosos-salinos, que se encuentran en las zonas más altas de las marismas por lo que las mareas que pueden cubrirlas tienen que ser de fuertes coeficientes, más de 90, y suelen ser indicadoras de la altura a que puede llegar como máximo el agua. En esta zona marismeña, bien representada en Cantabria, hemos denunciado la asociación *Junco-Caricetum extensae* que

comprende la mayor parte de las junqueras que se encuentran a lo largo de la costa santanderina. Es la clásica junquera formada por una población cerrada y bastante pura, con el predominio de una sola especie junciforme, el junco *Juncus maritimus* Lam.

En Galicia, BELLOT (1966: 123-124) y CASTROVIEJO (1975: 56-58) estudian estas marismas altas, así como DIAZ (1974-1975: 434 - 444) las del occidente asturiano y GUINEA (1949: 352 y 361-363) las de Vizcaya.

Todas estas comunidades, frecuentemente forman, como en los casos de las clases anteriores, subasociaciones con las especies compañeras de las comunidades contiguas. Asimismo es muy corriente encontrar en ellas diferentes facies.

Especies características de la clase y unidades inferiores que hemos encontrado en Cantabria:

- Agrostis stolonifera* L.
Armeria maritima (Miller) Willd.
Atriplex hastata L.
Carex extensa Good.
Centaurium maritimum (L.) Fritsch
Cotula coronopifolia L.
Festuca rubra L. subsp.
Glaux maritima L.
Juncus maritimus Lam.
Limonium vulgare Miller
Oenanthe crocata L.
Plantago maritima L.
Puccinellia maritima (Huds.) Parl.
Samolus valerandi L.
Spergularia media (L.) C. Presl
Triglochin maritimum L.

Las especies compañeras más importantes, son:

- Agropyron pungens* (Pers.) Roem. & Schult.
Arthrocnemum fruticosum (L.) Moq.
Arthrocnemum perenne (Miller) Moss
Aster squamatus (Sprengel) Hieron.
Aster tripolium L.
Baccharis halimifolia L.
Cortaderia selloana (Schult.) Asch. et Gr.
Frankenia laevis L.
Halimione portulacoides (L.) Aellen
Inula crithmoides L.
Juncus acutus L.
Salicornia europaea L.
Suaeda maritima (L.) Dumort.
Suaeda vera J. F. Gmelin

BIBLIOGRAFÍA

- ALLORGE, P. (1941): "Essai de synthèse phytogéographique du Pays basque". *Bull. Soc. Bot. France*, 88: 291-356. Paris.
- BELLLOT, F. (1951): "Sinopsis de la vegetación de Galicia". *Anal. Inst. Bot. Cavanilles*, 10 (1): 389-444. Madrid.
- BELLLOT, F. (1966): "La vegetación de Galicia". *Anal. Inst. Bot. Cavanilles*, 24: 5-306. Madrid.
- BOLOS, O. DE (1967): "Comunidades vegetales de las comarcas próximas al litoral situadas entre los ríos Llobregat y Segura". *Mem. R. Acad. Ciencias y Artes de Barcelona*, 38 (1): 1-280. Barcelona.
- BON, M. et GEHU, J. M. (1973): "Unités supérieures de végétation et récoltes mycologiques". *Documents mycologiques*, 6: 1-40. Lille.
- CASTROVIEJO, S. (1975): "La vegetación halófila costera del suroccidente gallego". *Documents phytosociologiques*, 9-14: 51-62. Lille.
- DIAZ GONZALEZ, T. E. (1974-1975): "La vegetación del litoral occidental asturiano". *Rev. Fac. Cienc.*, 15-16 (2): 369-545. Oviedo.
- DUCHAUFOUR, P. (1975): Manual de Edafología". Ed. Toray - Masson. Barcelona.
- GEHU, J. M. (1973): "Premiers compléments chorologiques au fascicule n.º 1, *Spartinetea maritimae*, du prodrome des groupements végétaux d'Europe". *Documents phytosociologiques*, 4: 47-49. Lille.
- GEHU, J. M. (1973): "Unités taxonomiques et végétation potentielle naturelle du Nord de la France". *Documents phytosociologiques*, 4: 1-22. Lille.
- GEHU, J. M. (1975): "Essai systématique et chorologique sur les principales associations végétales du litoral atlantique français". *Anal. Real Acad. Farmacia*, 41 (2): 207-227. Madrid.

- GEHU, J. M. (1975): "Aproche phytosociologique synthétique de la vegetation des vases saalees du littoral Atlantique Français. (Synsystématique et Synchorologie)". *Colloques phytosociologiques, IV. Les vases salées*: 395-462. Lille.
- GHESTEM, A. (1972): "Essai de synthèse des végétations halophiles de la baie de la Canche (62), France". *Documents phytosociologiques, 1*: 1-33. Lille.
- GUINEA, E. (1949): "Vizcaya y su paisaje vegetal (Geobotánica vizcaína)". Junta de Cultura de Vizcaya. Bilbao.
- GUINEA, E. (1953 a): "Geografía botánica de Santander". Publ. Dip. Prov. Santander. Santander.
- GUINEA, E. (1953 b): "Ammophiletea, Crithmo - Staticetea, Salicornieteaque santanderienses". *Anal. Inst. Bot. Cavanilles, 11* (1): 545-568. Madrid.
- KUBIENA, W. L. (1952): "Claves sistemáticas de suelos". Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
- LORIENTE, E. (1974): "Sobre la vegetación de las clases Zosteretea y Spartinetea maritimae de Santander". *Anal. Inst. Bot. Cavanilles, 31* (2): 179-189. Madrid.
- LORIENTE, E. (1976): "Mapa de la vegetación fisonómica actual de la franja costera occidental de Cantabria". *Anal. Inst. Est. Agropecuarios, 2*: 9-39. Santander.
- MAYOR LOPEZ, M. y DIAZ GONZALEZ, T. E. (1977): "Síntesis de la vegetación Asturiana". *Documents phytosociologiques N. S., 1*: 159-173. Lille.
- NAVARRO ANDRES, F. y DIAZ GONZALEZ, T. E. (1974): "Zonación de la vegetación en las playas asturianas". *Asturnatura, 2*: 43-52. Oviedo.
- RIVAS GODAY, S. y RIVAS-MARTINEZ, S. (1963): "Estudio y clasificación de los pastizales españoles". Publ. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- RIVAS-MARTINEZ, S. (1973): "Ensayo sintaxonómico de la vegetación cormofítica de la Península Ibérica, Baleares y Canarias hasta el rango de subalianza". *Trab. Dep. Botánica y F. Veg., 6*: 31-43. Madrid.
- RIVAS-MARTINEZ, S. (1974): "Sintáxones conocidos del área asturiano-leonesa, a estudiar". Amicale Phytosociologique. Sesión Asturias-León, 8-15 julio. León (multicopista).
- RIVAS-MARTINEZ, S. (1975): "Esquema sintaxonómico de la clase 'Juncetea maritimi' en España". *Colloques phytosociologiques, IV. Les vases salées*. 193-196. Lille.
- TUXEN, R. (1971): "Spartinetea, Coeno-Spartinetea". *Bibliographia Phytosociologica Syntaxonómica, 3*. Verlag Von J. Cramer. Lehre.
- TUXEN, R. (1971): "Zosteretea marinae, Ruppietea". *Bibliographia Phytosociologica Syntaxonómica, 5*. Verlag Von J. Cramer. Lehre.
- TUXEN, R. (1972): "Thero-Salicornietea". *Bibliographia Phytosociologica Syntaxonómica, 10*. Verlag Von J. Cramer. Lehre.

- TUXEN, R. (1973): "Asteretea tripolium. Juncetea maritimi, Saginetea maritimae".
Bibliographia Phytosociologica Syntaxonomica, 16. Verlag Von J. Cramer. Lehre.
- TUXEN, R. und col. OBERDORFER, E. (1958): "Eurosibirische Phanerogamengesellschaften Spaniens". *Veröff. Geobot. Inst. Rübel*, 32: 1-328. Zürich.
- TUXEN, R. et GEHU, J. M. (1976): "Remarques sur la répartition linéaire des associations littorales et leur vicariance syncosystémique transversale le long des côtes ouest européennes". *Documents phytosociologiques*, 15-18: 155-162. Lille.

DESCRIMINACION MEDIANTE METODOS DE
IONIZACION DE TRAZAS RELATIVISTAS PROCEDENTES
DE INTERACCIONES DE 0^{16}_8 CON LOS NUCLEOS
DE LA EMULSION

por

L. BRAVO
R. NIEMBRO
A. RUIZ
E. VILLAR

Departamento de Física Fundamental
Facultad de Ciencias
Universidad de Santander

I.—INTRODUCCIÓN

Una gran información sobre la fenomenología de las interacciones hadrónicas a muy altas energías se obtiene fundamentalmente a través de los datos que suministran los siguientes tipos de experiencias:

- a) Colisiones protón-protón, registradas en cámaras de burbujas.
- b) Reacciones protón-núcleo, donde los productos originados se registran en emulsiones fotográficas o mediante contadores.
- c) Interacciones núcleo-núcleo, producidas al bombardear emulsiones fotonucleares u otros blancos con iones desnudos de electrones, dotados de energías de algunos GeV. por nucleón.

En el marco de una colaboración internacional en la que está implicado el Departamento de Física Fundamental de la Facultad de Ciencias, se está llevando a cabo el estudio de las interacciones hadrónicas del último de los tipos citados. En efecto, haces de iones de O^{16} dotados de una energía de 2.1 GeV. por nucleón, han sido proyectados sobre emulsiones fotonucleares, mediante el potente acelerador de Berkeley (EE. UU.). Algunas de las placas, en donde han quedado registradas estas interacciones, están siendo estudiadas por nosotros. Esta experiencia forma parte de un amplio programa de interacciones núcleo-núcleo utilizando diferentes proyectiles, tales como iones de C, N, O, Fe, etc., y con una amplia gama de energías.

En todas las interacciones de partículas o de radiación con la materia, registrables en emulsión fotonuclear, siempre se presenta el problema de la identificación de las partículas eléctricamente cargadas que resultan de la colisión. El número atómico Z, el número mísico A y la energía E o el momento p, de una partícula, pueden deducirse de determinadas características que presenta la "traza" que ha originado en la emulsión fotográfica, características que quedan bien definidas a través de parámetros medibles .

Los parámetros más usuales son: "el alcance" o recorrido total R , los "índices de ionización" I y los "índices de scattering" S , todos ellos función del número másico A , número atómico Z y de la energía E . Dado que para cada tipo de partículas existen tablas o gráficas que relacionan estos parámetros con la energía, el problema de conocer el momento y la naturaleza de una partícula, se resuelve determinando dos de estos tres parámetros. La cantidad de energía perdida por la partícula por unidad de recorrido determina cuál de los índices de ionización es el más idóneo de entre los siguientes: número de granos por unidad de recorrido, densidad lineal de cúmulos de granos ("blobs"), longitud media del espaciado entre cúmulos ("gaps"), espesor medio de la traza, opacidad media y variación de cualquiera de estos parámetros con el "alcance" total o residual de la partícula.

Como es usual las trazas se han dividido para su estudio en tres tipos: "blancas" cuando la densidad lineal de granos es pequeña; "grises" si esa densidad es grande y entonces los granos constituyen "blobs" más o menos aislados; y por último, "negras" cuando la traza es prácticamente continua y por lo tanto apenas son distinguibles unos cúmulos de otros, siendo irresolubles al microscópico.

Cuando la ionización es alta no es posible el recuento de granos y es necesario recurrir a otro tipo de medidas. Las magnitudes más corrientemente empleadas son entonces la "anchura" de la traza y la opacidad de la misma. Ambos índices son semejantes y sus valores dependen de las características de la emulsión así como de la velocidad, masa y carga de las partículas ionizantes.

En el presente trabajo, el estudio de las partículas poco ionizantes se ha realizado a través del análisis de la densidad de granos o "blobs", mientras que para las partículas muy ionizantes se han realizado estudios de "opacidad". Es sobre este último método, del que vamos a exponer y discutir fundamentalmente los resultados obtenidos.

II.—ANÁLISIS DE LAS TRAZAS GRISES Y BLANCAS. IONIZACIÓN

Para medir la densidad de grano de las trazas grises ha sido necesario evaluar primero el diámetro medio de grano. Tomando agrupaciones de dos, tres o cuatro granos (tangentes o secantes entre sí), y contando el número de divisiones que abarcan en la escalilla ocular, hemos construido el histograma, y la recta de calibrado representadas respectivamente en las gráficas 1 y 2, que nos permiten conocer con gran aproximación el n.º de granos de un blob, sabiendo el número de divisiones que abarca. En la tabla I aparecen los valores obtenidos para la densidad de grano, "g", de una serie de partículas, así como su identificación, que ha sido posible a partir de esos valores y de las gráficas ionización-alcance que más adelante se estudiarán.

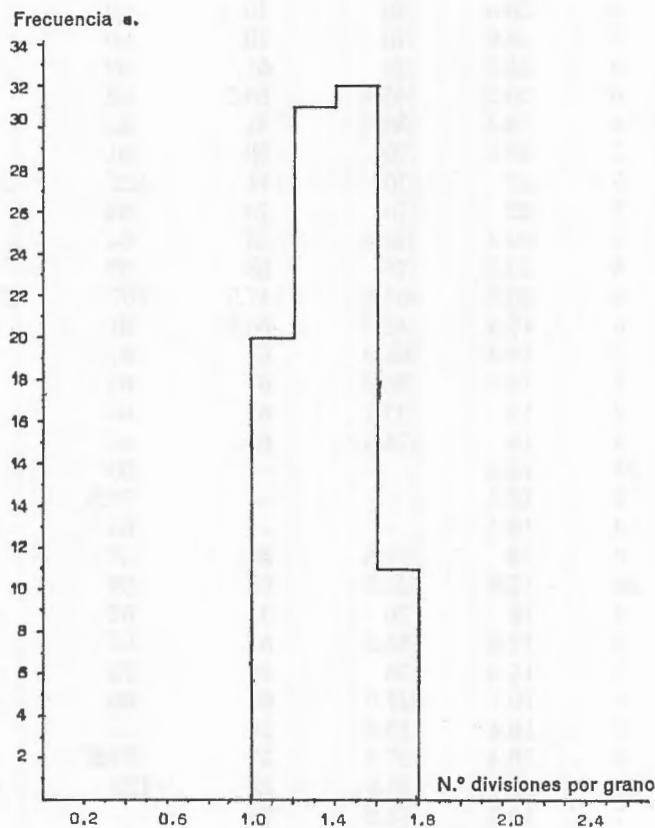
La ionización sigue una ley inversa al cuadrado de la velocidad de la partícula, alcanzándose un valor mínimo debido a efectos relativistas; después la ionización aumenta muy poco con la energía (del orden de un 10 %), alcanzándose finalmente un valor "plateau".

Tabla 1.—Valores de la densidad de granos, $g = n.^o$ de granos en 100 milímetros, en los puntos de coordenadas x_i y x_f . Representado como ejemplo en las gráficas 4 y 5 respectivamente.

Estrella n. ^o	Traza n. ^o	x_i	x_f	g_i	g_f	Identificación
1	11	46.4	57.1	66	60	α
4	7	43	76	60	62	α
7	6	43.2	76	62	70	α
7	5	43.2	76	62	70	α
10	6	35.9	43	65	59	α
16	3	32.5	52.1	60	69	α
6	6	32.5	76	61	63	α
21	5	26.3	57.2	64	62	α
21	6	26.3	76	61	64	α
22	3	26.6	50	66	66	α
22	4	26.6	76	70	69	α
22	5	26.6	76	70	69	α
25	5	26.2	76	61	69	α
25	6	26.2	45.4	63.5	62	α
28	4	23.2	39.3	31	28	α
28	7	23.2	76	58	61	α
34	5	22	76	131	122	$Z = 3^*$
34	7	22	76	73	64	α
35	3	20.2	42.6	53	64	α
35	4	20.2	76	68	59	α
36	4	20.7	64.6	137.5	107	$Z = 3$
39	6	19.4	42.3	66.5	61	α
39	7	19.4	63.9	67	67	α
42	1	19	36.2	67	65	α
42	2	19	37.1	61	63	α
42	4	19	73.8	64	65	α
43	21	18.4	—	—	68	
43	3	18.4	—	—	72.5	
43	4	18.4	—	—	65	α
45	8	18	27.6	60	57	α
46	30	17.8	26.3	82	89	α
51	4	16	76	83	62	α
52	9	17.2	64.2	64	62	α
54	5	15.4	76	59	72	α
64	4	10.7	21.9	68	60	α
65	6	10.4	15.4	70	—	
65	8	10.4	27.3	57	77.5	
66	11	10.7	30.6	73	128	p^*
66	7	10.7	14.2	75	—	
68	6	9.5	29.2	67	67	α
68	8	9.5	22.5	56	66	α

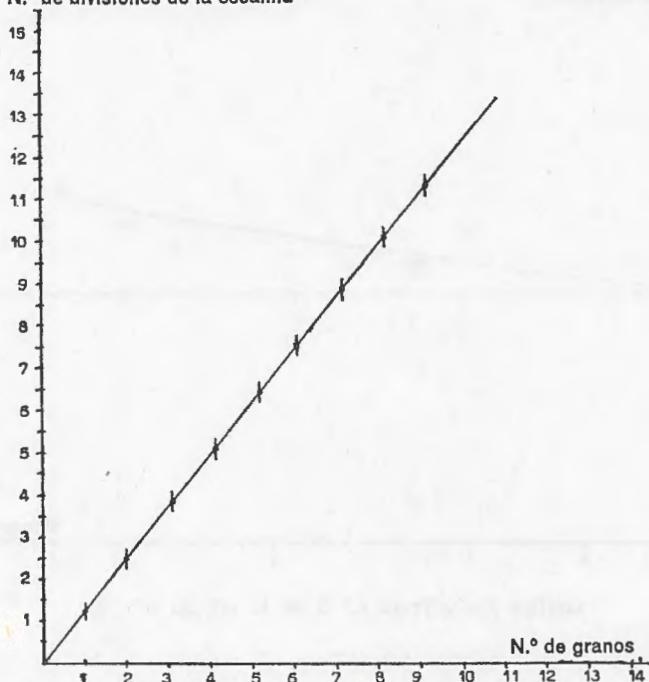
Tabla 1.—(Continuación).

Estrella n.º	Traza n.º	x_i	x_f	g_i	g_f	Identificación
70	8	7	12	55	—	
71	7	6.8	16.9	70	67	α
72	2	6.1	30	67	67	α
72	3	6.1	48.9	64	65	α
74	2	5.7	38.9	126.5	110	$Z = 3$
74	4	5.7	32	66	64	α
3	2	43.8	64.2	45	50	α
7	5	43.8	63.4	50	49	α
11	11	66.4	63	63	40	α
40	7	27.3	8.8	64	64	α^*



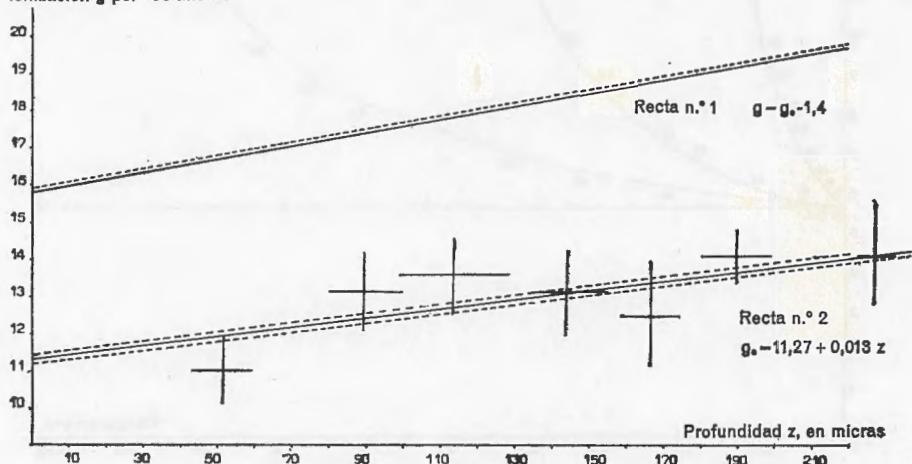
Gráfica 1.—Histograma de frecuencias del diámetro de grano.

N.º de divisiones de la escalilla

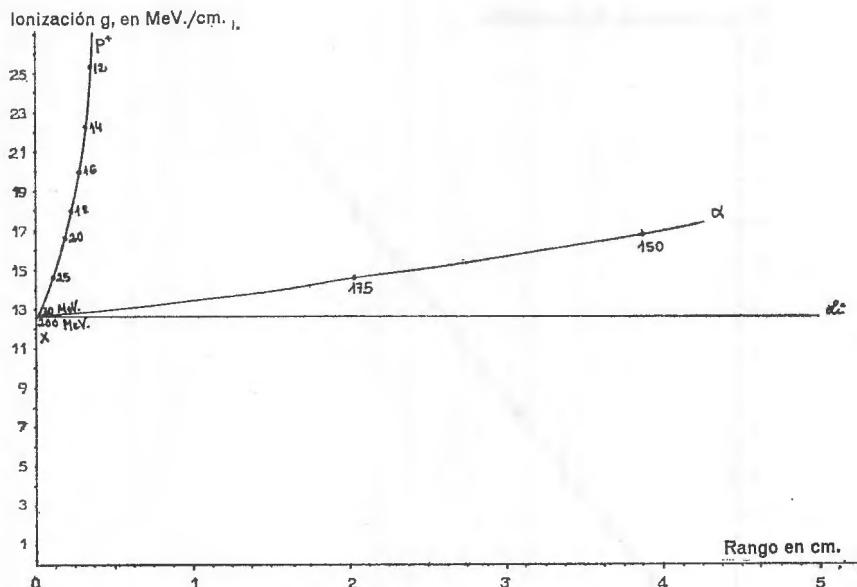


Gráfica 2.—Recta de calibrado del n.º de granos de un blob.

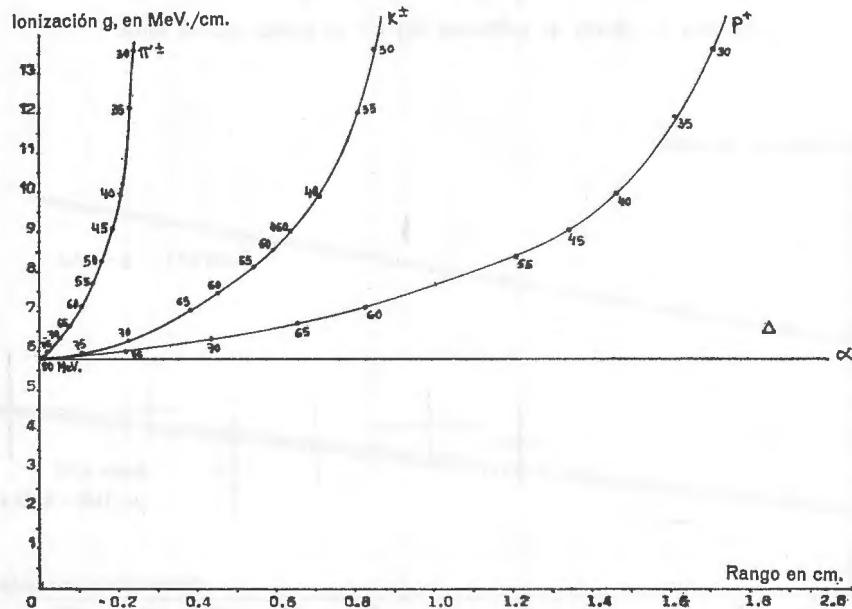
Ionización g por 100 micras



Gráfica 3.—Variación de la ionización, g, con la profundidad, z.



Gráfica 4.—X Traza n.º 5 de la estrella n.º 34.



Gráfica 5.—Δ Traza n.º 7 de la estrella n.º 40.—X Traza n.º 11 de la estrella n.º 66.

La recta I de la gráfica número 3, representa la ionización "plateau" en función de la profundidad de la traza en la emulsión, construida por medidas de ionización de trazas blancas relativistas (trazas que forman con el primario un ángulo menor de 8°). La otra recta corresponde al umbral a partir del cual se considera que una traza es gris; se ha construido siguiendo el criterio de que una traza es gris cuando su ionización vale más de $1,4 g_0$, siendo g_0 el valor de la ionización "plateau" de una traza blanca.

Junto con las gráficas 4 y 5, y los valores obtenidos de g , es como hemos identificado las trazas secundarias grises. La primera de estas curvas corresponde al caso de partículas relativistas, cuya ionización "g", en el momento de su emisión sea precisamente de $4. g_0$, siendo g_0 el valor de la ionización plateau.

Para piones y kaones hemos considerado la expresión que nos relaciona el alcance total R , de una partícula en emulsión, con su masa M y su carga Z :

$$R = \frac{M}{Z^2} \cdot F(\beta)$$

en la que $F(\beta)$ sólo depende de la velocidad; entonces si dos partículas tienen igual carga y velocidad y por lo tanto $F(\beta)$ es la misma para ambas, se verificará que:

$$\frac{R}{R'} = \frac{M}{M'}$$

siendo R y M los valores correspondientes protones y R' y M' los valores correspondientes a la partícula problema.

La gráfica 4 corresponde a ionizaciones mayores, siendo $g = 4. g_0$ en el centro de la estrella y habiéndose construido idénticamente a la anterior.

III.—OPACIDAD

Las medidas de opacidad se realizan por métodos fotométricos y son tan delicadas y críticas que la intensidad de la luz utilizada y la fatiga del observador son aspectos que requieren un estrecho control. Por otra parte el método fotométrico tiene entre otras ventajas, la de no considerar cada grano separadamente, sino en conjunto con otros, sobre cierta longitud de traza, por lo cual se disminuyen las fluctuaciones en las medidas.

En general el método consiste en medir el flujo luminoso que atraviesa un diafragma en forma de rendija rectangular, estrecha, de anchura poco superior a la de la imagen de la traza, de modo que ésta quede situada a lo largo del eje mayor de esa rendija, cubriendola casi en su totalidad. La opacidad se mide por la inversa del flujo luminoso que atraviesa la rendija. Existe una relación entre esta medida de la opacidad y la velocidad, carga y masa de la partícula registrada en la emulsión. A mayor velocidad (o sea mayor

energía) la ionización que se produce es mayor y por lo tanto también la opacidad, que está relacionada con la cantidad de granos de plata ionizados (plata reducida), que va aumentando a medida que se va frenando la partícula en la emulsión, es decir al aumentar la pérdida de energía por unidad de recorrido. Para una partícula de carga Z y velocidad β , la pérdida de energía por unidad de longitud viene dada por:

$$E = 8 \cdot 10^{-4} \cdot \beta^{-4/3} \cdot Z^2 \cdot \left[1 - \exp(-125 \beta / Z^{2/3}) \right]^2 \text{ MeV.}/\mu. \quad (1)$$

Se observa que esta pérdida de energía depende de la carga fuertemente, Z , aspecto muy significativo en el caso particular de las trazas de los iones relativistas, motivo de nuestro trabajo. Como se producen fenómenos de saturación y solapación de los granos, ocurre que en el centro de la traza, esa pérdida de energía puede tomarse proporcional a Z^x . Por otra parte, si bien los cálculos que describen este proceso se realizan teniendo en cuenta la ionización en volumen, lo que se observa en el microscopio es la proyección de la traza sobre un plano horizontal, por lo cual el espesor de la traza apenas influirá en las medidas, pues los rayos absorbidos por la traza serán todos los que incidan en su superficie, atravesen o no toda su altura. Para la opacidad, " O_p ", se admite una relación del tipo:

$$O_p(Z, \beta) = K \cdot Z^x \cdot F(\beta) \quad (2)$$

donde K es una constante, $F(\beta)$ una función a determinar y x un parámetro a calcular.

Para una traza de alcance R , se tiene:

$$\log \sum_{R=0}^R O_p(Z, \beta) = \log K + \log \sum_{R=0}^R F(\beta) + x \log Z \quad (3)$$

En primera aproximación el alcance $R_{Z,A}$ de un ión de número atómico Z y número mísico A , se relaciona con el alcance residual R_p de un protón de idéntica β , por la expresión:

$$R_{Z,A}(E) = \frac{A}{Z^2} \cdot R_p \left(\frac{E}{A} \right) \quad (4)$$

que se reduce a:

$$R_{Z,A}(E) = \frac{A}{Z^2} \cdot R_p(Z) \quad (5)$$

al considerar que ambas tienen la misma β .

Aplicando entonces la expresión (3) a partículas α y protones, se obtiene:

$$x = \frac{\log \frac{\sum_{R=R}^{\infty} O_p(Z, \beta)_\alpha}{\sum_{R=0}^{\infty} O_p(Z, \beta)_\alpha} - \log \frac{\sum_{R=R}^{\infty} O_p(Z, \beta)_p}{\sum_{R=0}^{\infty} O_p(Z, \beta)_p}}{\log 2} \quad (6)$$

que permite evaluar el exponente x de la carga, para cualquier ión en mismo tipo de emulsión, mediante medidas de opacidad de partículas de carga y velocidad conocidas.

IV.—ANÁLISIS DE TRAZAS NEGRAS: MEDIDAS DE OPACIDAD

La anchura de una traza se debe a dos causas; por un lado, a los granos de plata originados por el ión incidente (que dan lugar a una densidad primaria de granos) y, por otro, a los rayos delta que sobresalen muy poco de la traza primaria (rayos delta de rango muy pequeño). Se observa que el diámetro de los granos debidos a los rayos delta no es apreciablemente distinto del de los granos primarios. Cuando la velocidad de pérdida de energía se hace muy grande, el valor g_p (densidad primaria de granos) tiende a un valor de saturación. En las trazas de oxígeno, no estudiadas en este trabajo, el máximo de energía productor de un rayo delta de esas características es de 22 KeV. de energía. Se considera que el diámetro de un grano es el rango de un rayo delta producido por un electrón de aproximadamente 2 KeV. de energía; este sería pues el valor mínimo de la energía que debe tener un electrón para producir un rayo delta. En resumen los electrones con energías comprendidas entre 2 y 22 KeV. pueden producir rayos delta que contribuyen a la densidad secundaria de granos g_s . El valor g_s a lo largo de una traza producida por una partícula de carga Ze y velocidad, viene dado por:

$$g_s = \frac{AZ^2}{\beta^2} \quad (7)$$

con:

$$A = 0,68 (W_m^{2/3} - W_0^{2/3}) - 1.1 \cdot 10^{-2} (W_m^{7/6} - W_0^{7/6}) \quad (8)$$

siendo W_m y W_0 el máximo y mínimo de energía de un electrón que puede producir un rayo delta que contribuya a la densidad secundaria de granos.

Las medidas de opacidad se han realizado con el dispositivo experimental que se ha esquematizado en la figura 1.

La señal eléctrica que nos da el fotomultiplicador nos mide el flujo de luz que atraviesa la rendija con o sin traza. Como la placa no es totalmente transparente, sino que además de la absorción propia de la emulsión, existen diversos factores que disminuyen el flujo luminoso, tales como el retículo numérico fotografiado en el fondo, posibles manchas opacas en la emulsión, otras trazas a distintas alturas, etc., ha sido necesario imponer ciertos criterios en las diferentes etapas del proceso de medida. El método operativo para medir la opacidad de una traza, ha sido el siguiente:

a) Para evaluar la opacidad de fondo y poder así eliminarla en parte, hemos normalizado las medidas. Para ello se ha efectuado una lectura A_1 , con la traza a 25μ del eje mayor de la rendija y le hemos asignado el valor 1.000. Dado que las placas no son totalmente homogéneas, el voltaje administrado al fotomultiplicador no ha sido constante, sino que ha variado durante el trabajo, oscilando en todos los casos entre 0,6 y 0,9 kilovoltios.

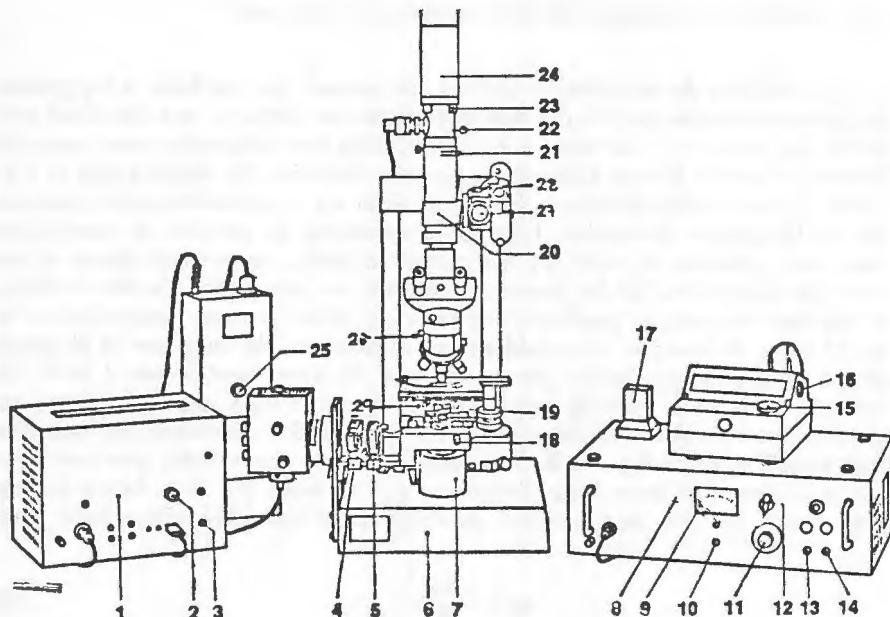


Fig. 1

- b) Llevamos la traza a coincidir con el eje mayor de la rendija y hacemos la lectura A_2 .
- c) Hacemos ahora otra medida A_3 , con la traza a 25μ del eje mayor de la rendija y al lado contrario del caso a).
- d) Se calcula la intensidad (valor medio) del flujo de luz que atraviesa la rendija sin traza que, evidentemente, vendrá dado por: $I_0 = (A_1 + A_3)/2$, siendo $A_1 = 1.000$. Debido al ruido de fondo A_1 resulta distinta de A_3 .

e) Se procede ahora al cálculo del flujo luminoso cuando la traza se sitúa en la rendija. Resulta así que: $I = A_2$.

f) Se determina la opacidad o flujo debido a la traza realmente, mediante: $Op = I_0 - I$, pues como es lógico, el flujo transmitido será mayor cuando no está la traza en la rendija. Resulta así, $Op = 500 + (A_3 - 2A_2)/2$

Usualmente la opacidad queda determinada a través de cualquiera de estos dos índices: "opacidad media" y "opacidad integral". La opacidad media de una traza se determina tomando valores de opacidad a intervalos de traza iguales a la longitud de la rendija, hasta alcanzar un número de medidas estadísticamente suficientes para poder determinar un valor medio aceptable. La opacidad integral se define como la suma de todas las opacidades diferenciales desde el principio de la traza hasta la longitud R recorrida.

En el presente trabajo se ha utilizado la opacidad media, tomando sesenta medidas en intervalos de traza de 50μ ya que las dimensiones de la rendija utilizada ha sido de $50 \times 5 \mu$. Los criterios de cutt-off aplicados para que los valores medios de opacidad fueran aceptables, han sido: $250 \leq |A_1 - A_2| \leq 50$, $250 \leq |A_3 - A_2| \leq 50$, $|A_1 - A_3| \leq 100$. El objetivo utilizado ha sido de 50x y los oculares de 25x.

En la figura se muestra un esquema de la rendija con y sin traza.

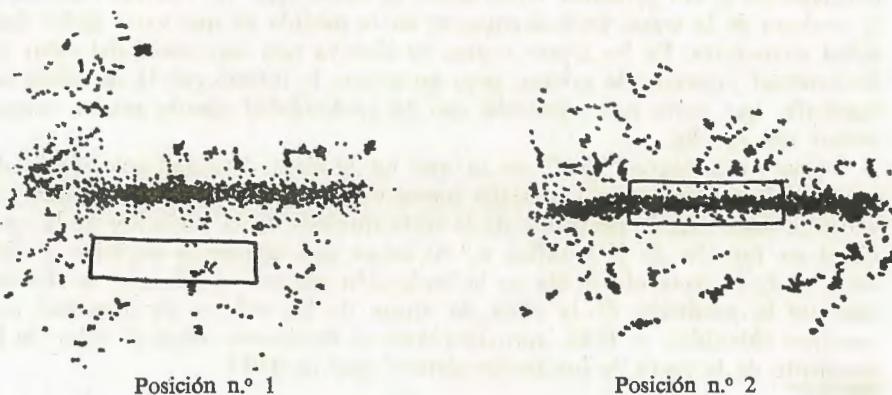


Fig. 6.—Posiciones de la traza para la medida de la opacidad.

A continuación analizamos cada uno de los factores que más intensamente afectan a las medidas de opacidad de una traza, son:

- La profundidad a que se encuentra la traza (medida sobre el fondo de la emulsión).
- El ruido de fondo.

- c) El ángulo que forma la traza con su proyección sobre el plano horizontal de la emulsión.
- d) El tipo de placa.
- e) El operador y el tiempo de medida.
- f) Otros factores dispersantes, dada la naturaleza estadística de los métodos aplicados.

A continuación analizamos cada uno de ellos.

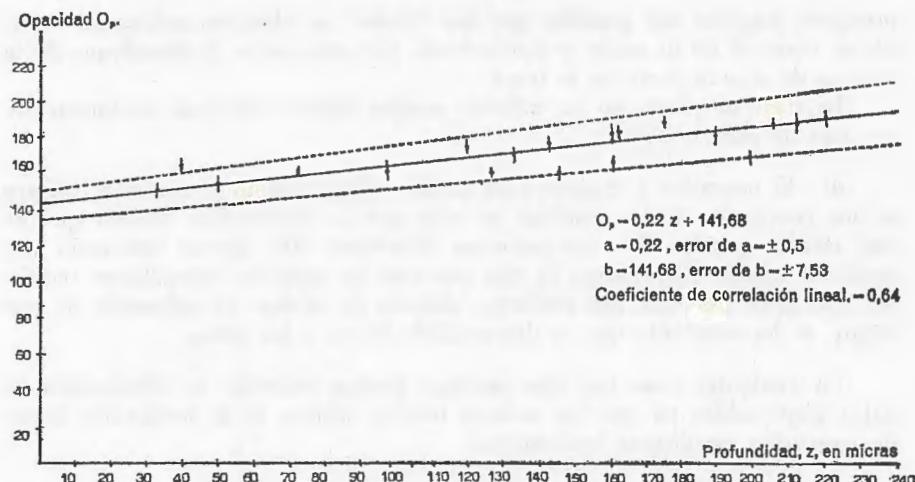
a) La profundidad a que se encuentra la placa en la emulsión. La profundidad influye a través de varios efectos: difusión de la luz en la emulsión, gradiente del revelado, efectos de superficie y fondo. Para evitar estos últimos se han medido solamente trazas que estuvieran únicamente a más de 50 μ de la superficie o del fondo. Por otra parte el gradiente del revelado y la difusión de la luz, han sido estudiados midiendo las opacidades de los iones del haz incidente, de carga y energía conocidas, a diversas profundidades y se ha efectuado un ajuste lineal (ver figura 6 y tabla 2) teniendo en cuenta un peso estadístico para cada punto proporcional al cuadrado de su desviación.

La variación lineal que se observa en la recta I de la gráfica 3 es debida al gradiente del revelado. Evidentemente este gradiente influirá tanto sobre la densidad de grano primaria, como sobre la secundaria. La opacidad debida a la anchura de la traza, variará entonces en la medida en que varíe dicha densidad secundaria. En las trazas negras se observa una saturación del valor de la densidad primaria de granos, pero no ocurre lo mismo con la densidad secundaria, que sufre una variación con la profundidad siendo mayor cuanto mayor sea aquella.

Una traza negra "ideal" en la que no hubiera densidad secundaria de grano, debería tener una ionización nueve veces superior al valor plateau, y por lo tanto que la pendiente de la recta que nos da la variación de la opacidad en función de Z (gráfica n.º 6) tenga una pendiente superior a diez veces al de la recta observada en la ionización plateau (gráfica n.º 3). Efectivamente la pendiente de la recta de ajuste de los valores de opacidad por nosotros obtenidos, es 0,22, aproximadamente diecinueve veces el valor de la pendiente de la recta de ionización-plateau, que es 0,013.

b) El efecto de "ruido de fondo". Se debe a factores tales como la existencia de un retículo numerado, fotografiado en la superficie de la emulsión adherida a la placa vidrio, a granos de fondo de origen cósmico y fotónico, a la proximidad de otras trazas capaces de observar parte del flujo de luz que se mide. Para eliminar todos estos defectos de ruido de fondo se han aplicado ciertos criterios de cutt-off, lo que ha obligado a despreciar gran número de medidas.

c) El efecto de inclinación de la traza, si bien los iones del haz permanecen durante su recorrido en emulsión prácticamente paralelos a la superficie, no ocurre lo mismo para las trazas secundarias cuya inclinación puede



Gráfica 6: Variación de la Opacidad con la profundidad.

Tabla 2.—Medidas de opacidad de primarios.

Estrella n.º	Profundidad (μ)	Opacidad	Desviación Standard	Error de Opacidad
49	33	151.04	20.32	2.7
7	50	154.00	41.06	5.4
56	40	163.67	27.11	3.7
21	98	159.92	28.58	3.75
5	146	160.58	32.86	4.4
36	143	177.72	31.02	4.03
24	133	170.06	35.28	4.8
33	160	178.34	30.11	4.3
37	160	181.21	31.17	4.28
59	162	183.00	20.11	2.87
28	175	183.94	28.34	3.75
19	190	182.27	28.70	3.73
18	205	188.44	25.17	3.39
63	212	188.00	21.53	3.07
50	220	193.20	30.23	4.23
—	73	161.60	14.56	2.22
—	127	160.41	12.13	1.84
—	160	165.54	34.38	4.51
—	120	174.43	30.58	4.01
—	175	189.80	29.89	3.95
—	242	194.45	23.14	3.27

presentar ángulos tan grandes que los "blobs" se observen solapados cuando en realidad no lo están, y produciendo por otra parte el desenfoque de la imagen de alguna parte de la traza.

La clase de placa, no ha influido porque hemos trabajado solamente sobre una de ellas.

d) El operador y el tiempo de medida. En principio el operador influye en los resultados de las medidas no solo por la apreciación distinta que de una medida puedan dar dos personas diferentes, sino por el cansancio que acuse un mismo observador, ya que este tipo de medidas fotométricas requieren una gran atención. Sin embargo, después de evaluar la influencia de este factor, se ha concluido que es despreciable frente a los otros.

En cualquier caso hay que emplear fuertes criterios de eliminación de datos dispersables ya que las mismas teorías básicas de la ionización tienen un contenido estadístico fundamental.

V.—IDENTIFICACIÓN DE SECUNDARIOS POR MEDIDAS DE OPACIDAD

Basándonos en las expresiones estudiadas hemos procedido a la determinación de la carga de algunas partículas producidas en la interacción, que originan trazas negras y que tienen prácticamente la misma dirección del haz incidente y que presumiblemente resultan de una fragmentación del ión incidente y por lo tanto de carácter relativista.

Para obtener el valor del parámetro x se requiere el estudio de opacidades de dos iones diferentes de carga conocida y de la misma velocidad, dentro de la misma placa y que nosotros no hemos podido realizar por no disponer de estadística suficiente más que para un ión, el O_8^{16} . Por ello hemos admitido el valor de $x = 0,70 \pm 0,04$ obtenido en otros trabajos.

Para poder abordar el problema de la identificación de secundarios se define una "traza promedio", como aquellas que produciría un ión de las mismas características a la profundidad media de la emulsión, si este ión fuese el promedio estadístico, de todas las medidas. Eso es posible dado que se dispone de la recta de ajuste de Op en función de la profundidad para los iones primarios (gráfica 6). Sin embargo, tendremos que hacer la hipótesis de que la pendiente de esta recta no se altera sustancialmente al cambiar la carga del ión.

A partir de la expresión (2) tenemos:

$$\log \langle Op \rangle_{z_1} - \log \langle Op \rangle_{z_2} = x(\log z_1 - \log z_2) \quad (10)$$

de donde,

$$\log z_1 = \log z_2 + x(\log \langle Op \rangle_{z_1} - \log \langle Op \rangle_{z_2}) \quad (11)$$

con $\langle Op \rangle$ = Opacidad de la traza promedio.

A su vez,

$$\frac{\Delta z_1}{z_1} = \frac{1}{x} \left[\left(\frac{\Delta \langle O_p \rangle_{z_1}}{\langle O_p \rangle_{z_1}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta \langle O_p \rangle_{z_2}}{\langle O_p \rangle_{z_2}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (12)$$

Donde no se ha tenido en cuenta el error de x por ser mucho menor que el error cometido en la opacidad.

Para calcular $\langle O_p \rangle$ y $\Delta \langle O_p \rangle$, hemos de hallar los valores de opacidad a una profundidad media z_m , es decir, calcular:

$$\Delta O_p |_{z_m} = \Delta O_p |_{z_0} + \Delta m (z_m - z_0) \quad (13)$$

Donde z_0 y O_p son la profundidad y opacidad que aparecen en las tablas n.^o 3 y 2, y $m = 0.22$. z_0 es la pendiente de la recta de la gráfica de opacidades.

El error de esa $O_p |_{z_m}$ será:

$$\Delta O_p |_{z_m} = \Delta O_p |_{z_0} + \Delta m (z_m - z_0) \quad (14)$$

El valor medio de todas estas $O_p |_{z_m}$ se ha calculado habiendo tomado como peso estadístico la inversa del error individual para cada medida. Se han obtenido así los valores: $\langle O_p \rangle_{z_m} = 164 \pm 2$.

De este modo los valores de las cargas de las trazas secundarios han resultado ser, por el orden en que aparecen en la tabla n.^o 3:

6.21	\pm	0.48
6.67	\pm	0.36
7.19	\pm	0.47
7.67	\pm	0.48
8.53	\pm	0.55
8.47	\pm	0.37
5.99	\pm	0.26
6.91	\pm	0.38
7.04	\pm	0.53
5.40	\pm	0.84
7.39	\pm	0.38

Tabla 3.—Medidas de opacidad de secundarios que forman con el primario ángulos menores de 8°.

Estrella n.º	Profundidad (μ)	Opacidad	Desviación Standard	Error de Opacidad
29	78	124.04	32.60	4.47
3	142	145.04	44.82	5.83
17	96	142.63	33.46	4.78
18	205	170.62	23.66	3.22
63	212	187.43	27.04	3.64
33	160	175.11	23.39	3.48
59	162	139.11	16.38	2.38
9	172	155.22	26.66	3.50
37	160	154.49	49.21	6.46
64	225	143.62	53.68	8.94
73	144	156.21	36.46	4.74

VI.—CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Se ha puesto a punto un sistema de medidas microfotométricas que permite realizar medidas precisas de "opacidad" de trazas de partículas cargadas registradas en emulsiones fotonucleares. El método se ha aplicado a las trazas de iones de O_8^{16} , de 2'1 GeV. por nucleón. Aunque la estadística de sucesos estudiados no ha sido demasiado amplia se ha podido comprobar la coherencia del método.

Se ha puesto de manifiesto la importancia que tiene la variación de la opacidad de las trazas con la profundidad de la emulsión encontrando una dependencia lineal, con una variación del 30 % en un espesor de emulsión de 230 micras.

A partir de los anteriores resultados, y habiendo observado las posibles influencias de otros factores, se ha procedido a la identificación de aquellos secundarios producidos en algunas interacciones periféricas, que dan lugar a trazas negras, de ángulo de emisión menor de 8°.

Por otra parte, a partir de medidas de densidad de grano de trazas blancas producidas por partículas relativistas se ha determinado el grado de ionización del "plateau", lo que ha permitido construir las curvas de la variación de la densidad de grano con el alcance para piones, kaones, protones, partículas alfa e iones de litio.

Por último, se han realizado medidas de densidad de grano para trazas grises dentro del cono principal de emisión, que han permitido identificarlas como fragmentos de carga $Z=2$ y $Z=3$, probablemente procedentes de la fragmentación del ión indicante.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) E. VILLAR: "La Física de los iones pesados".
- 2) S. BEHRNETZ, K. KRISTIANSON, S. NINDSTAM and K. SODERSTROM: "Análisis of Photometric measurements of tracks produced by heavy cosmic ray particles stopping in a stack of nuclear emulsions".
- 3) R. ANDERSSON, L. LARSSON and O. MATHIESEN: "Photometric measurements on tracks of very heavy cosmic ray particles with $E \geq 1 \text{ GeV/nucleon}$ ".
- 4) EMILIO HIGON RODRIGUEZ: "Determinación de carga de iones ($3 \leq Z \leq 9$) por métodos fotométricos".
- 5) WALTER H. BARKAS (Tomos I y II): "Nuclear research emulsions".
- 6) A. BONETTI, C. DILWORTH, L. SCARSI: "Nuclear emulsions, Theory and practice".
- 7) MAURICE M. SHAPIRO: "Nuclear emulsions".
- 8) FRANCISCO FERNANDEZ MORENO: "Tesis doctoral".
- 9) J. SEQUEIROS, F. FERNANDEZ, R. KAISER y V. GANDIA: "Photometric charge discrimination of nonrelativistic heavy cosmic ions in nuclear emulsion".
- 10) POWELL, FOWLER and PERKINS: "The study of elementary particles by the photographic method".

LOS HAYEDOS DEL VALLE DE LIEBANA

Por

M.^a GLORIA SÁIZ DE OMEÑACA
PEDRO MANTILLA

Cátedra de Proyectos. E. T. S. de Ingenieros de Montes. Madrid
Centro de Investigación y Desarrollo de Santander

RESUMEN

Se da a conocer un mapa con la localización de los bosques de hayas (*Fagus sylvatica* L.) en el Valle de Liébana. Se estudia la acción conjunta de los factores que influyen en dicha localización: altitud, orientación, litología, etc., para poder determinar el área óptima de la formación. Se cita su cíntamente el cortejo florístico del hayedo, y finalmente se analiza el estado actual de estos bosques, dando algunos de los factores que influyen para ello.

ABSTRACT

A map showing the distribution of the beech (*Fagus sylvatica* L.) forest in the Liébana Valley (Santander, Northern Spain) is presented. The factors which determine the distribution of the beechs —altitude, orientation, lithology, etc.— have been studied, in order to outline the area with optimum conditions for their development. The plant association of the beech forests in the area is described. Finally, there is a discussion of the present condition of such forest and of some of the factors which have had an influence in it.

DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LA ZONA

El Valle de Liébana constituye una comarca natural, situada en el extremo más occidental de la provincia de Santander. Comprende los Términos Municipales de Tresviso, Castro-Cillorigo, Camaleño, Cabezón de Liébana, Vega de Liébana, Pesaguero y Potes (fig. 1). La superficie aproximada es de 57.533 Has. (10,8 % de la provincia de Santander).

Es una zona accidentada, con gran sucesión de valles angostos y picos, vaguadas y divisorias, con alturas desde 300 m.s.m. (Potes 291 m.) hasta más de 2.600 m. de altitud (Peña Vieja 2.613 m.). Las alturas menores se encuentran en la zona central, y se van elevando progresivamente hacia los límites. Las cadenas montañosas que la limitan pertenecen a los Macizos Oriental y Central de los Picos de Europa. El modelado de las partes altas de la región es esencialmente glaciar y de edad cuaternaria.

Todas estas elevaciones determinan la formación de una amplia cuenca de recepción, constituida por tres valles principales (fig. 1):

- Valle del río Deva, con orientación aproximada W - SW.
- Valle del río Quiviesa, con orientación aproximada W - SW - S.
- Valle del río Bullón, con orientación aproximada SE - S.

Los tres valles se unen cerca de Potes formando otro muy angosto, que en su extremo norte se cierra en un desfiladero profundo (Desfiladero de La Hermida), que penetra en el Término Municipal de Peñarrubia.

El río principal es el Deva, que vierte directamente al mar Cantábrico, separando en su tramo final las provincias de Santander y Oviedo. Como afluentes principales tiene, por la izquierda el Canalejas, el Arroyo Trespalacio (que vierte cerca de Entrerría) y el Arroyo del Chivo (que lo hace cerca de Lebeña). Por la derecha vierten el Cubo (cerca de Cosgaya), el Quiviesa (a la altura de Potes) y el Bullón (en Ojedo).

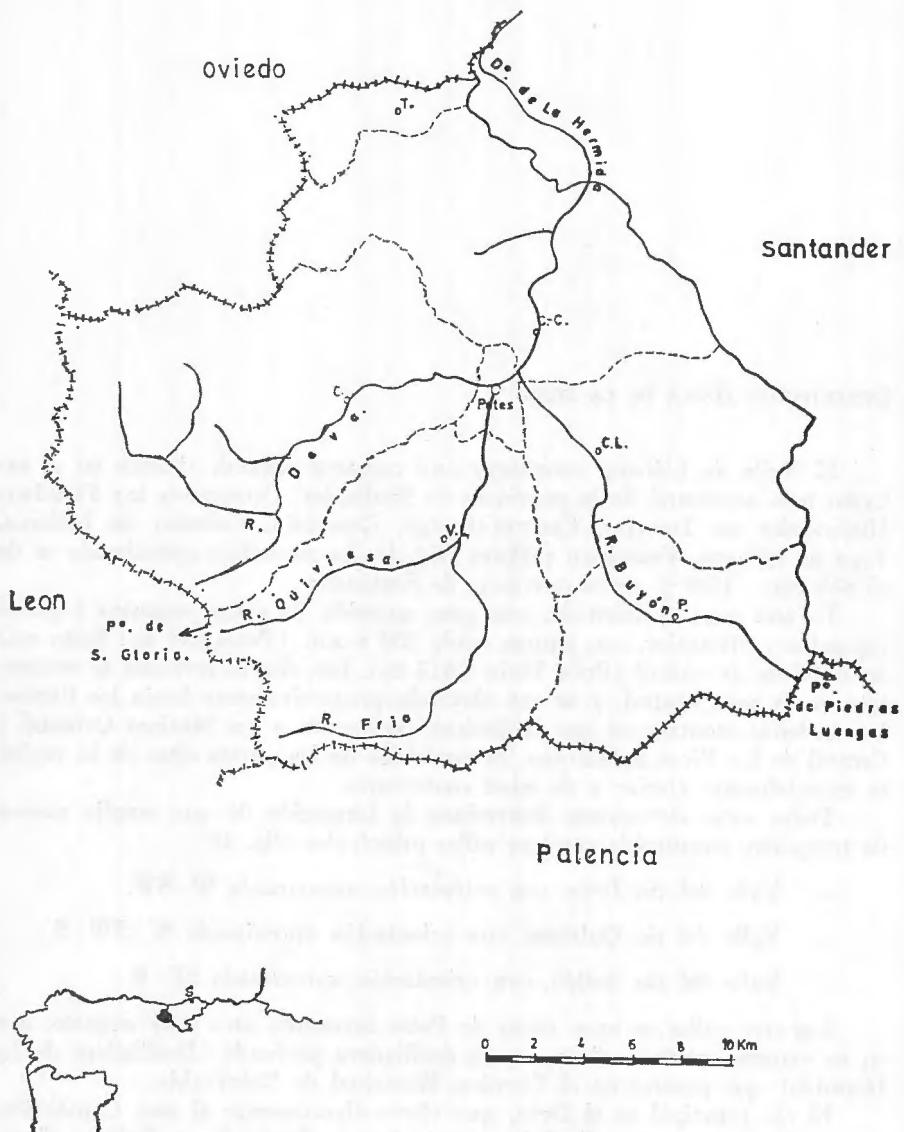


Fig. 1.—Localización y breve esquema del Valle de Liébana.

Hay gran cantidad de torrentes y otras pequeñas corrientes de agua que pueden ser permanentes o intermitentes; estas últimas son extraordinariamente frecuentes en primavera, por el deshielo, y en invierno por las precipitaciones en forma de lluvia, aunque a partir de determinadas alturas suelen ser de nieve en la mayoría de los casos.

Prácticamente la comarca es una unidad cerrada por paredes rocosas, con tres únicas comunicaciones con el exterior:

- Desfiladero de La Hermida, que a través de la C. N. 621 de Espinama a Unquera, se une con la C. N. 634 de Santander - Oviedo. En La Hermida enlaza con la C. C. 6.314 que va hacia Cabuérniga (cuenca del Saja).
- Puerto de Piedras Luengas, que une Liébana con Palencia (C. C. 627).
- Puerto de San Glorio, en la divisoria de las provincias de Santander y León.

Estos dos últimos puertos están frecuentemente cerrados por la nieve.

La base geológica necesaria para el desarrollo de los trabajos fue suministrada por el Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias de Santander, a cuyos miembros se agradece su colaboración.

La fig. 2 resume la distribución de las litologías, habiéndose utilizado también datos morfológicos, de pendientes y de distribución de depósitos superficiales.

La comarca de Liébana tiene un clima tipo mediterráneo en el valle, que se va transformando hasta llegar a las grandes alturas, donde llega a ser subalpino, e incluso alpino (ICONA, Min. Agric., 1972). Los datos termopluviométricos para este estudio fueron tomados de la estación meterológica de Ojedo, a 1 Km. de Potes (43° 10' de la latitud, y 0° 56' de longitud, y 400 m.s.m. es la situación del observatorio).

EL HAYEDO: CONDICIONES AMBIENTALES

Fagus sylvatica L., es una de las especies características del Dominio Floral Eurosiberiano Occidental, y normalmente falta en áreas de la Región Mediterránea, donde sólo aparece localizada en lugares muy favorables. Una zona de clima mediterráneo donde aparece es el Valle de Liébana, y se trata en efecto, de un lugar especialmente favorable, porque la proximidad del mar Cantábrico hace que no falte la humedad ambiental en ninguna época del año, y es bien sabido que el haya se sitúa en regiones influenciadas por el ambiente oceánico o en montañas de clima húmedo. Tiene como límite las localidades en que el índice de Ellenberg es superior a 20-30 (RUIZ de la TORRE, 1971).

En España, en general, es especie de montaña, con óptimo entre 1.000-1.500 m., pudiendo subir a los 2.000 m. (Pirineos), y bajar al nivel del mar (litoral Cantábrico). En el Valle de Liébana se encuentra desde los 500 m,

(Valle de Bedoya), hasta 1.700 m. (Aniezo). Según ARRIEU (1944), el piso de las hayas en los Picos de Europa alcanza una altitud excepcional por la abundante pluviosidad del régimen atlántico.

Ocupa las laderas de exposición preferentemente norte, oscilando a NE-NW-W y puede situarse en lugares con fuertes pendientes (hasta 45-50 %). Resulta curioso observar cómo el hayedo se extiende por la ladera a umbría de un monte, hasta llegar a la cuerda pero sin ocuparla nunca. Esta puede presentarse sin vegetación arborea (con matorral o braña) a causa del viento, o bien con el mismo tipo de bosque que ocupa la ladera opuesta (bosque de Q. Pyrenaica, por ejemplo).

Vive en laderas y aún en mesetas antes que en valles estrechos y húmedos, en los que las heladas les pueden resultar altamente perjudiciales.

Se encuentran más frecuentemente sobre sustrato ácido (pizarras sedimentarias, grauvacas, etc.), pero también hay hayedos sobre calizas. En altas altitudes prefieren suelos calizos por ser más calientes, ya que la absorción de agua por las raíces es más difícil en los suelos fríos.

En general prefiere suelos maduros, pero soporta suelos muy evolucionados, como ocurre en las fuertes pendientes; GUINEA (1953) dice que se encuentran hayedos hasta con 2-6 cm. de suelo. En la zona estudiada no es infrecuente encontrar hayas de porte arbóreo en zonas de roca desnuda, aprovechando el escaso suelo que existe en las grietas. Si viven en estos lugares es gracias a la humedad ambiental. De no existir ésta, aunque el suelo fuera húmedo, el haya no podría resistir, dado que la humedad atmosférica constituye uno de sus factores limitantes. Se ha podido observar que frecuentemente se sitúan en zonas de nieblas: "Tengo al haya por el árbol más nefelófilo, y representa el mejor testimonio de la zona de nieblas de todo el territorio cantábrico" (GUINEA, 1953). En el Valle de Liébana las nieblas son importantes por su asiduidad e intensidad; aparecen todos los meses, algo menos en septiembre y octubre (MOLINA, 1976).

EL HAYEDO COMO FORMACIÓN VEGETAL

Antes de centrarnos en los hayedos estudiados, vamos a transcribir un párrafo de GUINEA (1953) que refleja muy bien cómo son las manchas de vegetación en la provincia. "Utilizando un símil muy gráfico, para mí un tapiz vegetal está compuesto como una acuarela. En la acuarela, lo fundamental es el agua en que se disuelve el color. Si el papel en que se va a pintar está bien seco y caliente, tenemos las asociaciones vegetales circunmediterráneas, de colores cortados con límites muy precisos en áreas homogéneas; pero si el papel está húmedo y seca despacio, como sucede con la vegetación atlántica, entonces los colores se mezclan y confunden, y las comunidades vegetales se ubican en diversas estaciones que no les corresponden".

En la zona, como siempre, hay una transición climática gradual, modificada por la topografía. La vegetación, como indicador preciso que es, responde a esas variaciones de forma progresiva y gradual.

En el mapa (fig. 3), se han señalado los hayedos en los que se han realizado inventarios. No hemos intentado someterlos a un estudio fitosociológico.







Con 600 di questi adattati a 2000
miglia di distanza

gico, que supondría un trabajo de otro tipo y con otros objetivos. De todas formas, los hayedos estudiados son bastante ricos en especies, aunque muchas de ellas son características amplias de los bosques caducifolios eurosiberianos.

GUINEA (1953), refiriéndose en general a los hayedos de la provincia, dice: "el hayedo aquí, se haya próximo al extremo sudoccidental del área geográfica del hayedo, lo que condiciona un empobrecimiento de la lista de plantas que forman parte de su cortejo en las zonas europeas de óptimo desarrollo del haya (no ya como árbol, sino como posible organismo gerente de una legítima asociación vegetal)".

Comparados con los hayedos españoles indicados por BOLOS (1948a y 1948b), LOSA y MONTSERRAT (1952 y 1953), TUXEN und OBERDORFER (1958), RIVAS MARTINEZ (1962 y 1973), MONSERRAT (1968) y LO-RIENTE (1973), ciertamente hay plantas que se encuentran tanto en los hayedos de La Liébana como en otros hayedos estudiados, pero según nuestro criterio, no son suficientes para incluirlos en las mismas asociaciones. Las ligeras variaciones climáticas, edáficas y topográficas locales, así como la posición marginal dentro del área general, dan características especiales que individualizan los hayedos montañosos.

Los hayedos del valle son, con alguna frecuencia, pobres en vegetación acompañante, lo cual ha sido igualmente observado por otros autores en diferentes zonas: "con frecuencia se observan hayedos sin plantas de *Fagetaalia* (hayedos desnudos) y sólo con pocas hayas jóvenes de diferentes edades; suele darse este caso cuando la profundidad edáfica es muy escasa y las raíces de los árboles ocupan todo el perfil del suelo. Hacia 50-100 años las hayas más robustas dominan y sofocan a las más débiles, que mueren y dejan sitio para que se desarrolle las plantas herbáceas típicas de buenos hayedos; como las intervenciones no pasan de 40-80 años, difícilmente se alcanza el estadio estable con muchas características en el estrato herbáceo. Son relativamente frecuentes los hayedos con bastante helecho común (*Pteridium aquilinum*) y zarzas (*Rubus gr. glandulosus*), muy típicos de los hayedos aclara-dos". (MONTSERRAT, 1968).

En las zonas más bajas, en zonas de mayor actuación del hombre, en zonas de contacto de los hayedos con otras manchas de vegetación, con otros bosques, etc., aparecen los bosques mixtos donde predomina el haya, pero se encuentra mezclada con otras plantas de porte arbóreo o arborescente, como:

- Ilex aquifolium*
- Fraxinus excelsior*
- Crataegus monogyna*
- Quercus robur*
- Q. petraea*
- Q. pyrenaica*
- Ulmus montana*
- Sorbus aria*
- S. aucuparia*
- Corylus avellana*

En menor cantidad aparecen:

- Taxus baccata
- Betula sp.

Los abedules suelen estar coronando los hayedos, en algunos casos, en forma arbustiva: en la falda de Peña Sagra, por ejemplo, algunos de los de mayor tamaño son arrastrados cada año por las nieves, predominando así los de forma arbustiva. RIVAS MARTINEZ (1964) señala que el límite altitudinal del bosque caducifolio, por encima de los hayedos, en las altas montañas silíceas de la Cordillera Cantábrica se hallan *Betula pubescens* ssp. *celtiberica* y serbales (*Sorbus aucuparia*).

El *Q. petraea* acompaña al haya en zonas medias y altas, mientras que el *Q. robur* se sitúa en las zonas más bajas. El *Q. pyrenaica* aparece tanto en zonas bajas como medias y altas hasta los 1.400 m., en crestones y cuerdas, donde la vegetación cambia por el azote del viento, y el hayedo desaparece.

Por lo que respecta a las especies arbustivas acompañantes, entre las que se repiten algunas de las anteriores, podemos citar:

- Crataegus monogyna*
- Ilex aquifolium*
- Q. pyrenaica*
- Sorbus aria*
- S. aucuparia*
- Corylus avellana*
- Ulmus minor*

Leguminosas como:

- Genista florida*
- G. hispánica*
- G. ánglica*
- Sarothamnus* ssp.

Ericaceas, como:

- Erica arborea*
- E. vagans*
- E. umbellata*
- Vaccinium myrtillus*
- Calluna vulgaris*
- Daboecia cantábrica*

En cuanto a las especies herbáceas, son esencialmente plantas esciáfilas, como *Anemone nemorosa*, *Scilla lilio-hyacinthus*, *Poa nemoralis*, *Saxifraga geum*, y otras muchas. Aparecen también otras plantas típicas de lugares húmedos, más o menos corrientes en esta zona, algunas de las cuales son frecuentes incluso en bordes de camino, lo cual indica que son plantas dislocadas, y que la zona donde se encuentran, antes estaba ocupada por el bosque.

Si el hayedo desaparece, por tala fuerte o por quema, en su lugar se implanta un matorral compuesto principalmente por brezos (*Erica spp.*, *Calluna vulgaris*, *Daboecia cantabrica*); escajos, árgomas o tojos (*Ulex europaeus*, *U. minor* y *U. gallii*) y matigo (*G. hispánica*); escobones (*G. florida*, *Sarothamnus sp.*); acompañados por el *Pteridium aquilinum* (LORIENTE 1973). Este mismo tipo de matorral se encuentra en los claros naturales del bosque de hayas: desde lejos tiene la apariencia de una zona quemada, pero realmente no es así. Son zonas, que ya sea por un ligero cambio de exposición, o del sustrato, no son favorables para el crecimiento de las hayas, o éstas fueron taladas hace mucho tiempo, y se presenta la formación de matorral antes citada. Si la tala o quema no han sido muy fuertes y siguen desarrollándose algunas hayas, puede entrar el abedul.

Por el grado de humedad dentro del hayedo, también hay gran cantidad de musgos, cuya presencia y abundancia nos limitamos a señalar.

ESTADO ACTUAL DE ESTOS HAYEDOS

La impresión general que ofrecen los hayedos estudiados es sorprendente, ya que su estado es cuando menos estacionario y muchas veces de vigorosa regeneración. Nos referimos a los de esta comarca, puesto que, quizá por su localización, accesibilidad, etc., no todos los de la provincia presentaron el mismo estado. LORIENTE (1973) dice de los hayedos de Saja: "Desgraciadamente hoy son más abundantes los calveros que estas hermosas y verdes capas que en tiempos no muy lejanos cubrían por completo la ruta de Cabuérniga a Campoo. (...). Cualquier relato histórico que trate de esta región menciona los formidables bosques que aquí existían. Todavía hay zonas vírgenes que son el último exponente de lo que antaño sería esta región montañesa".

Volviendo a los hayedos de Liébana, los relatos del siglo pasado nos señalan una comarca eminentemente boscosa (BONA, 1881), pero también nos hablan de su explotación, de las cortas que se hacían, etc., con lo cual su extensión era cada vez menor. Hoy, sin embargo, comprobamos que los hayedos están colonizando cada vez más terreno, sobre todo zonas donde antes se situaba el cagigal (de *Q. petraea* o *Q. robur*), según la altitud y el tipo de suelo: GUINEA (1953) afirma que "...(el *Q. robur*)... relativamente exigente de suelos ricos en sustancias nutritivas y profundos, prefiere aquellos que son frescos, relativamente húmedos, bien aireados y ricos en humus, lo que explica la preferencia de este árbol por los niveles bajos y vaguadas, en oposición al otro roble de flores sésiles (*Q. petraea*), el roble albero de Santander, que busca suelos más secos y niveles más elevados".

El por qué de esta invasión no es fácil de explicar por completo, aunque se pueden dar algunas de las causas. Quizá la principal sea la difícil regeneración del robledal, pues son muchos los factores que actúan en contra. Otro factor es la entrada del ganado en el bosque, porque las plantas jóvenes son más apetecibles, y también son más utilizadas para el ramoneo las frondosas que el matorral. El ganado prefiere las plantas de roble a las de matorral,

más secas. Así, el matorral va adentrándose en el robledal, y en la competencia suelen ganar las especies que entran a formar parte del matorral.

En contraposición a lo visto para el robledal, la regeneración del hayedo es mucho más favorable: los hayucos al caer al suelo encuentran factores favorables: poca competencia, humedad suficiente, semioscuridad, etc., lo cual hace que germinen rápidamente y en cantidades asombrosas, sobre todo si se comparan con los robledales; en la mayoría de los hayedos la regeneración es muy grande, pudiéndose encontrar en algunos hasta 6-7 plántulas por dm. cuadrado. Esta extraordinaria cifra fue observada en primavera-verano de 1976, lo cual no quiere decir que todos los años sea igual.

La regeneración frecuentemente es mayor en las orillas del hayedo, ya que durante el verano no son tan oscuras, y la penetración de algo de luz favorece la adecuada germinación de la semilla (MARTIN PALACIO, 1973). De este modo el área del hayedo se va extendiendo paulatinamente, penetrando algo en el robledal (que frecuentemente es la formación contigua). Comienza a formarse un bosque mixto, si es que no existía ya, y el haya acaba por desplazar al roble, ya que las plantas jóvenes del roble van desapareciendo por falta de luz, mientras que las de la haya prosperan. Así, en la gran mayoría de los bosques mixtos de haya y roble, el haya se encuentra en varios estratos, mientras que el roble sólo está presente en los estratos más elevados y algo menos en los intermedios, siendo cada vez más escasa la representación de plantas jóvenes.

Posiblemente sean todas las causas citadas y algunas otras, actuando conjuntamente, y no una sola, las que conducen a los hayedos a la situación descrita.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) ARRIEU, F. (1944): "La végétation des Picos de Europa. Les paysages pastoraux". *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 79: 359-375. Toulouse.
- 2) BOLOS, O. (1948 a): "Acerca de la vegetación de Sauva Negra". *Collect. Bot.*, 2 (1): 147-164. Barcelona.
- 3) BOLOS, O. (1948 b): "Algunos datos sobre las comunidades vegetales de la Fageda de Jordá (Olot)". *Collect. Bot.* 2 (2): 251- 260. Barcelona.
- 4) BONA y GARCIA DE TEJADA, C. (1881): "Memoria sobre la explotación de los robles por la marina en la provincia de Santander y noticia acerca de las hayas de la misma provincia". *Imprenta de la Gaceta de los Caminos de Hierro*. Madrid.
- 5) GUINEA, E. (1953): "Geografía Botánica de Santander" *Publ. Inst. Dip. Prov. Santander*. Santander.
- 6) LORIENTE, E. (1973): "Los hayedos del bosque del Saja". *Publ. Inst. Etnografía y Folklore Hoyos Sainz*, 5: 243-256. Santander.
- 7) LOSA, T. M. y MONTSERRAT, P. (1952): "Aportación al estudio de la flora de los montes cantábricos". *An. Inst. Bot. A. J. Cav.*, 10 (2): 413-509. Madrid.
- 8) LOSA, T. M. y MONTSERRAT, P. (1953): "Nueva aportación al estudio de la flora de los montes cántabro-leoneses". *An. Jar. Bot. A. J. Cav.*, 11 (2): 385-462. Madrid.
- 9) MARTIN PALACIO, F. (1973): "Proyecto de ordenación definitiva del monte 'Cotera Oria y otros', número 109 del Catálogo de Utilización Pública de la provincia de Santander". *ICONA*. Santander.
- 10) MOLINA, J. J. (1976): "Estudio previo a la creación del Parque Nacional 'Picos de Europa'". Min. Agríc. *ICONA*. Oviedo.
- 11) MONTSERRAT, P. (1968): "Los hayedos navarros". *Collect. Bot.*, 7 (2): 845-893. Barcelona.
- 12) RIVAS MARTINEZ, S. (1962): "Contribución al estudio fitosociológico de los hayedos españoles". *An. Inst. Bot. A. J. Cav.*, 20: 99-128. Madrid.
- 13) RIVAS MARTINEZ, S. (1973): "Comentarios sobre la sintaxonomía de la alianza FAGION en la Península Ibérica". *An. Inst. Bot. A. J. Cav.*, 30: 235-251. Madrid.
- 14) RUIZ DE LA TORRE, J. (1971): "Arboles y arbustos de la España Peninsular". *Inst. Forest. Invest. y Exp.* Madrid.
- 15) TUXEN, R. und OBERDORFER, E. (1958): "Die pflanzenwelt Spaniens, II Teil. Eurosibirische Phanerogrammen-Gesellschaften Spaniens". *Veröff. Geobot. Inst. Rübel*, 32. Berna.
- 16) Min. Agríc. (1972): "Vocación Cultural de las comarcas naturales de la provincia de Santander". *ICONA*. Madrid.

