

UCH-FC  
LIC-B  
G 427

UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS

Básicas y Farmacéuticas

**Acerca del Marco Temporal Visual**  
y del modo como participa el ritmo alfa.

Tesis entregada a la  
Universidad de Chile  
en cumplimiento parcial  
de los requisitos para optar  
al grado de Licenciado en Ciencias  
con mención en Biología.

MICHEL GHO GONZALEZ.

Profesor - Guía :  
Dr. Francisco Varela G .

Octubre 1983

a mis Padres

a nuestra generación dispersa,  
ojalá nos reencontremos en  
"las grandes alamedas por donde  
pase el hombre libre para cons-  
truir una sociedad mejor"



Quiero agradecer a mis profesores Humberto Maturana R. y en especial a Francisco Varela, con quien he aprendido mucho más de lo que él se imagina.

Este trabajo no hubiera sido posible sin la ayuda de muchos compañeros que se prestaron como sujetos de experimentación. En especial quiero agradecer cariñosamente a Ximena Rojas, Inés Cassassa, Rigoberto Solís y Jorge Golowash, quienes pacientemente sacrificaron su tiempo durante más de dos años; creo que este trabajo terminado constituye el mínimo reconocimiento que puedo darles.

## Indice

Resumen	1
Abstract	3
1. Introducción	5
1.1 Motivación	5
1.2 Ritmos	6
1.2.1 Ritmos en el sistema nervioso	8
1.2.2 Ritmos corticales	9
1.3 Ritmos y conducta	11
1.3.1 Simultaneidad y ritmo alfa	12
1.4 Objetivos	13
1.4.1 Percepción de simultaneidad de un par de destellos monocromáticos sucesivos y ritmo alfa	14
1.4.2 Percepción de un color de fusión cuando se presenta un par de destellos sucesivos de distinto croma y ritmo alfa	14
2 Método	16
2.1 Descripción general	16
2.2 Detalles	20
2.2.1 Cabina de estimulación	20
2.2.2 Estímulos	21
2.2.3 Control externo e interno	22

2.2.4 EEG, amplificación, filtrado retardo y registro	24
2.2.5 Condiciones de disparo, cotas	27
2.2.6 Programas	32
2.2.7 Registro y resultados	34
2.3 Experimentos	35
2.3.1 Curvas sicofísicas	37
2.3.2 Presentación de resultados, gráficos	38
3 Resultados	40
3.1 Observadores	40
3.1.1 Movimientos oculares	42
3.2 Experimentos monocromáticos	47
3.2.1 Sincronización con ritmo alfa	47
3.2.2 Cuantificación	51
3.3 Experiencia bicromática	54
4 Discusión	64
4.1 Experimentos monocromáticos	64
4.1.1 Ciclos de excitabilidad cortical	66
4.1.2 Barrido cortical	67
4.1.3 Resumen	67
4.1.3.1 El problema de la aguja de Buffon	68
4.2 Nuestra interpretación	70

4.2.1 Relaciones de actividad vs. estructura	71
4.2.2 Dominio de relaciones de actividad	73
4.2.3 Dominio estructural, bases neurales	79
4.3 Experimentos bicromáticos	86
4.4 Palabras finales	90
5 Referencias	93
Apéndice 1: Circuitos	96
Apéndice 2: Retardo	99
Apéndice 3: Cotas	105

## Resumen

Por la estructura particular del sistema nervioso, las actividades oscilatorias no son raras; más aún, con toda seguridad participan en su fenomenología. En particular nos centraremos en el "marco temporal visual", es decir, marcos discretos dentro de los cuales hay una uniformidad en la distinción temporal. Este fenómeno ha sido indicado como una consecuencia de una actividad rítmica subyacente, que define el marco perceptual.

Se utilizó como paradigma experimental el estudio de la percepción de simultaneidad de dos destellos separados por un tiempo, en co-relación a la banda entre 7 y 13 Hz del electroencefalograma (ritmo alfa) del sujeto perceptual. Para esto se disparó el estímulo -compuesto por los dos destellos- en distintas fases del ritmo alfa (condiciones de disparo), así como en forma independiente de él (experimento control). Además, en el caso sincronizado, se dispararon los estímulos sobre una determinada amplitud del ritmo, de modo que haya una constancia en el estado en el cual se presentan los estímulos.

Los resultados indican que las curvas psicofísicas que describen este fenómeno perceptual en las distintas condiciones de disparo, son curvas similares al caso control solo que desplazadas a lo largo de la abscisa o eje de los

estímulos. Este desplazamiento no fue mayor que 10 mseg.

La magnitud del desplazamiento no está de acuerdo con lo esperado mediante una visión en que el ritmo alfa define una suerte de marcos temporales fijos, por lo que se plantea un nuevo modelo que explica nuestros resultados como otros afines.

Basicamente consiste en que sería el estímulo visual el que dispara una actividad que corresponde al marco temporal, y ésta sería modulada por la actividad correspondiente al ritmo alfa. Esta modulación se debe a que los dos fenómenos compartirían una misma matriz neuronal y sería por consecuencia de esto, que los parámetros temporales característicos para uno u otro fenómeno sean similares.

Se intentó repetir este tipo de experimentación con otro tipo de percepción visual, de forma de comparar el modo de participación del ritmo alfa con dos distintos modos de estimulación. Para esto se ha utilizado el fenómeno de percepción de un color de fusión de dos destellos de distinto cromatismo separados por un tiempo. Este experimento reveló otras características nuevas del fenómeno que impidieron realizar alguna comparación.

Finalmente se presentan varios experimentos posibles de realizar, que continúen con este trabajo.

**Abstract**

Due to its peculiar structure, cyclic activities in the nervous systems are not rare, and probably participate in its functional dynamics. In the present study we are interested in the visual perceptual "frame", that is, discrete intervals within which no temporal distinctions are made. This phenomena has been proposed as arising from the underlying cyclic activity.

The experimental paradigm was as follows: the simultaneous perceptions of two lights separated by a given time interval, in correlation with the 7-13 Hz band of the electroencephalogram ( alpha rhythm ) of the perceiving subject. To this end, the stimulus -the two lights- was started in different phases of the alpha rhythm (triggering conditions), or independently of it ( control condition ). In the phase-locked conditions, the stimuli were triggered when the electroencephalogram exceeded a given threshold, so as to have maximal consistency in the state in which the stimuli are delivered.

Our results indicate that the psychophysical curves describing the phase-locked condition are comparable to the control case, but shifted on the abscissa. This shift was never longer than 10 msec.

The magnitude of this shift is at odds with what one

expects if the alpha rhythm defines a fixed temporal frame. Therefore, we propose a novel interpretation: the visual stimuli triggers an activity which corresponds to a temporal frame, which is then modulated by the alpha rhythm. This modulation is possible because both phenomena share the same neural base and, as a result share similar temporal parameters.

We attempted similar experiments with another visual perception, so as to compare their respective link to the alpha rhythm. To this end we used chromatic fusion of two lights of different chroma, separated by a time interval. This experiment revealed new features of the phenomenon which precluded any further comparison.

Finally, we discuss several lines of research which might clarify the questions posed in this work.

## 1. Introducción

### 1.1 Motivación

El estudio de actividades eléctricas en el cerebro humano se remonta a comienzos de siglo. Sin embargo el mecanismo que las genera, y con esto su relevancia en la dinámica cerebral, aún permanece desconocido y es motivo de discusión. Algo similar ocurre con un sinnúmero de experimentos sicofísicos, que se han mantenido con un carácter descriptivo, ya que no hay un mecanismo subyacente que los explique. Sin embargo, ellos configuran un cuadro de limitaciones estructurales, así como de condiciones límites del sistema nervioso, que es muy necesario si se intenta reunir en un modelo único tanto la actividad cerebral como la fenomenología que los experimentos sicofísicos revelan.

Nuestra idea es que muchas de las actividades eléctricas ya mencionadas constituyen las condiciones límites que los experimentos sicofísicos manifiestan. Si somos capaces de evidenciar que uno o un grupo de ellos tiene relación con alguna actividad cerebral, nos será posible entender cómo dicha actividad participa en la dinámica del sistema nervioso, base de la conducta. Esto permitirá una aproximación a la generación de estas actividades eléctricas y con ello al mecanismo o modelo único que englobe tanto la evidencia fisiológica como la sicofísica.

Es ésta la motivación principal de la tesis. En particular nos centraremos en la actividad eléctrica oscilatoria y en un grupo de experimentos sicofísicos que, como veremos, parece tener relación con ella.

## 1.2 Ritmos

Si nos damos un sistema dinámico, compuesto, las interacciones entre componentes pueden ser tales que tengan características recíprocas. Esta mutua perturbación entre componentes puede ocasionar transformaciones o estados repetitivos o recurrentes, bajo algunas limitaciones conservativas. De acuerdo al carácter de estas limitaciones, estos estados repetitivos u oscilantes serán locales o totales, ( Varela, 1979 ).

Los ejemplos de estados oscilantes son diversos y pueden encontrarse en cualquier dominio. Por cierto en el dominio eléctrico, una simple red constituida por una inductancia y un condensador, presenta oscilaciones cuyas características están dadas por los valores de inductancia y capacidad (las limitaciones conservativas).

En el dominio fisiológico, la especial permeabilidad de la membrana del músculo cardíaco resulta en una continua despolarización del potencial de membrana y, dada la cinética de tal despolarización, se observa una contracción repetitiva característica del músculo.

Las cualidades estructurales de los músculos del vuelo

en los insectos de vuelo asincrónico, hacen que oscilen a una frecuencia mucho mayor que las descargas nerviosas, lo que es característico de estos insectos.

Es sin duda el sistema nervioso el más rico en ejemplos de este tipo; sólo basta imaginar dos neuronas, una inhibidora y otra excitadora inervadas mutuamente, para obtener una actividad oscilatoria. En la multitud de interconexiones que existen en el sistema nervioso, no es de extrañar la presencia de una estructura como la señalada o bien con un nivel mayor de complejidad pero de similares características que, de acuerdo a la magnitud neuronal involucrada, generaría una oscilación local o global.

Si sólo consideramos estados oscilantes locales, podríamos reunir el conjunto de componentes que configuran tal estado en un elemento único, este elemento simple del sistema presentará como un atributo más la cualidad oscilante. En nuestros ejemplos, sería un componente oscilador en un aparato electrónico, o el corazón o el músculo del vuelo con su propiedad de contracción rítmica en algunos seres vivos, o algunos núcleos o ganglios que exhiben actividad oscilante en el sistema nervioso.

Ahora bien, según el modo como este elemento participa en la dinámica del conjunto, su cualidad oscilatoria será o no relevante. Si así lo fuera, propiedades del sistema surgirían por la presencia de tal elemento, e inversamente, si

quisiéramos explicar dicha propiedad, necesariamente debemos considerar elementos que exhiban una cualidad rítmica oscilante.

En resumen, hemos dicho que si existiesen interacciones recíprocas en un sistema cualquiera, no es raro esperar en él configuraciones o estados locales oscilantes. Además, decimos que estas actividades originarán una nueva gama de estados posibles del sistema total, que constituirá un nuevo aspecto de su dominio fenomenológico. Y viceversa, la existencia de estas características o limitaciones en la fenomenología del sistema, evidencian la presencia de actividades oscilante subyacentes. Si nos referimos a un sistema particular deberíamos confirmar estas afirmaciones.

#### 1.2.1 Ritmos en el sistema nervioso

La estructura del sistema nervioso puede ser vista como una red de neuronas que interactúan mutuamente, de tal manera que la modificación estructural que fue en un momento efecto de alguna interacción es al mismo tiempo causa de otra modificación, y así sucesivamente, en una continua mantención de tal juego de interacciones. Con este marco conceptual, que ha sido denominado de cierre o de clausura operacional (Maturana & Varela, 1972), no es de extrañar entonces, la presencia de actividades oscilantes.

Fenómenos conductuales oscilatorios como la marcha, la

respiración, el vuelo, ponen en evidencia la existencia de tales actividades rítmicas. Un caso más específico, es por ejemplo, algunas redes neuronales en el sistema nervioso de invertebrados; el ganglio torácico de *Periplaneta americana*, presenta una ritmicidad intrínseca que regula la marcha en este insecto. Esta ritmicidad depende de una configuración neuronal especial y las aferencias sensoriales sólo modulan esta ritmicidad. ( Pearson & Fourtner, 1975 )

Más existe un dominio de fenómenos oscilantes, que aunque conocidos desde hace mucho tiempo, no han sido explicados en su generación, ni tampoco relacionados con alguna experiencia psicofísica, se trata de las actividades oscilatorias eléctricas corticales.

La hipótesis principal de la tesis es que estos estados oscilantes en el sistema nervioso participan en la dinámica del sistema activamente, y por lo tanto deberíamos encontrar diversos fenómenos conductuales que para ser explicados será necesario relacionarlos con algunos estados oscilantes.

### 1.2.2 Ritmos corticales

La existencia de actividades oscilantes corticales en el sistema nervioso es tan manifiesta que ya en 1928, Berger trabajando con métodos rudimentarios y masivos como el hoy conocido electroencefalograma, describió " oscilaciones a una frecuencia de 10 ciclo por segundo, más o menos ", ( Walter, 1961 ); aunque ya en 1887 Caton había registrado actividad

eléctrica cerebral en conejos y monos, fue Berger el que mantuvo latentes estos descubrimientos, en una época en que estos trabajos no tuvieron aceptación. Fue en 1934, que Adrian y Matthews introdujeron en el mundo científico tales descubrimientos, iniciándose un incesante estudio y descripción de estas actividades, tarea que hasta el día de hoy no ha terminado con su continua productividad.

Pero, no pudiendo sustraerse del impulso inicial, estos estudios se han centrado principalmente en una dimensión descriptiva, ya que se descubrió que diversos estados patológicos incidían en dichas actividades, por lo que se convirtieron en un excelente medio de análisis y diagnóstico.

Esta actividad rítmica ha sido considerada ( con excepciones, por supuesto ), sólo como una consecuencia, un producto secundario, de la actividad cerebral. A partir de la hipótesis general antes planteada, se deduce que nosotros queremos considerarlas no sólo como una consecuencia, sino como elementos participes en la dinámica del sistema nervioso, (ver Linsley, 1952; Childers & Perry, 1971 ).

La dinámica del sistema nervioso puede ser reflejada en la conducta, y decimos que una serie de fenómenos conductuales solo serán entendidos cuando en su explicación conste la existencia de actividades oscilatorias.

Pero: ¿ Qué tipos de experimentos sicofísicos serán buenos candidatos para ser relacionados con una actividad

ritmica ?; o viceversa: ¿Qué actividad oscilatoria será significativa para efectos conductuales ?.

### 1.3 Ritmos y conducta

Komisaruk ( 1977 ), estableció una clara relación entre conducta de olfateo en rata y el ritmo oscilatorio con una frecuencia entre 4 y 7 Hz. también llamado ritmo theta; él encontró que el patrón de olfateo en la rata, el cual tiene una serie de conductas asociadas con una estricta secuencialidad, se correlaciona estrechamente con la fase del ritmo theta en cada momento. Constituye un buen ejemplo y sin duda apoya nuestra tesis general, pero además nos señala explícitamente que los fenómenos psicofísicos que pudieran estar relacionados con estados oscilantes deben tener un carácter temporal, ya que estos estados oscilatorios se desarrollan en una dimensión temporal.

Existe una diversidad de fenómenos perceptuales temporales que pueden ser descritos como reflejos de una limitación de la estructura neural en generar patrones de actividad distintos cuando los estímulos están demasiado juntos. Entre estos podemos mencionar:

\* Fenómenos de enmascaramiento y posterior brillo de un destello seguido de un destello condicionante, ( ver Donchin & Lindsley, 1965 ).

\* Percepción de movimiento aparente con estímulos intermitentes espacialmente separados ( ver Murphree, 1954 ; Westheimer & McKee, 1977 ).

\* Fenómenos de simultaneidad con dos estímulos de sensorialidad distinta ( Schmidt & Kristofferson, 1963 ).

\* Eventos que ocurren dentro de un período de tiempo crítico son percibidos simultáneamente ( ver Hirsh & Sherrick, 1961 ).

\* No correspondencia entre la numeración de trenes de estímulos en relación con el número de destellos presentados, ( ver Cheatham & White, 1952 ).

En los tres últimos se observa un rango crítico de tiempo entre los estímulos, en que el observador no puede discriminarlos. Se han interpretado éstos como si el sistema nervioso conformara unidades temporales tales que los estímulos no puedan ser "procesados" a una frecuencia mayor que la frecuencia de estas unidades temporales discretas, ( Harter, 1967 ).

#### 1.3.1 Simultaneidad y ritmo alfa

En particular nos centraremos en el fenómeno en que eventos luminosos que ocurren dentro de un período crítico de tiempo son percibidos como simultáneos. Este fenómeno fue descrito en 1845 por Exner y ha sido estudiado por diversos autores, y de acuerdo quizá con las distintas modalidades de estimulación y/o a las distintos modos de juzgar la sensación

de simultaneidad por los observadores, los tiempos críticos referidos han sido diversos; así Exner lo señaló de 44 msec. - con destellos no separados espacialmente-; Hirsh & Sherrick como de 20 msec., Varela et al alrededor de 65 msec, los dos últimos con destellos separados. Si bien en general este tiempo no supera en ningún caso los 100 msec.

Por otro lado, se conoce desde Berger que en el hombre adulto la actividad electroencefalográfica tiene un gran componente oscilatorio centrado también en 100 msec, el llamado ritmo alfa, cuyo máximo poder está entre las frecuencias de 7 a 13 Hz ( ver Grass et al, 1938) y es un importante componente, en especial en la zona tèmporoccipital, en donde se encuentra el área visual. Esta coincidencia pudiera no ser tal y es así como Varela, Toro, John y Schwartz ( Varela et al, 1981 ) demostraron una relación preliminar entre este fenómeno oscilatorio y el fenómeno sicofísico del límite temporal visual, ellos observaron que el periodo crítico varía según la fase del ritmo alfa al cual son disparados los estímulos.

#### 1.4 Objetivos

Según nuestro punto de vista, consideraremos el ritmo alfa como un elemento más en la actividad neural, por ello lo utilizaremos como una referencia para poder definir estados cerebrales similares y comparables; así por ejemplo, ciertas

condiciones de amplitud y fase de él, serán para nosotros un estado coherente particular del sistema nervioso. Queremos demostrar cualidades perceptuales diferentes en cada uno de ellos y por tanto configurar una dinámica de estados relevante en el fenómeno perceptual, dinámica que, definida por el ritmo alfa arrojará claridad sobre el modo de participación así como sobre la generación de este ritmo.

#### 1.4.1 Percepción de simultaneidad de un par de destellos monocromáticos sucesivos y ritmo alfa

En la tesis nos centraremos en el estudio del fenómeno ya señalado, para lo que presentaremos el estímulo -constituido por un destello, un tiempo interdestello o TID y un segundo destello de igual croma- en distintos lugares del ritmo alfa, que para nosotros constituyen estados coherentes y relevantes del sistema. Este modo de estimulación será descrito por el porcentaje o probabilidad de percibir simultáneos, estímulos caracterizados por un TID.

Esta descripción nos permitirá un conocimiento más determinado de la relación del fenómeno con el ritmo alfa, lo que constituye el primer objetivo específico de la tesis.

#### 1.4.2 Percepción de un color de fusión cuando se presenta un par de destellos sucesivos de distinto croma y ritmo alfa

Como segundo objetivo se planteó el establecer una relación entre ritmo alfa y un fenómeno distinto. Esto

permitiría dar mayor claridad al problema de la relevancia del ritmo alfa, ya que si dos fenómenos psicofísicos tienen una similar pero no idéntica relación con este ritmo, esto podría deberse al modo como alcanza éste las distintas subláminas de la corteza. Podría ocurrir que la no similitud esté en que la fase del ritmo alfa, en la sublámina implicada en cada fenómeno, sea distinta.

Para este objetivo se planteó un distinto modo de estimulación, constituido de dos destellos de diferente croma separados temporalmente.

En este caso las percepciones extremas pueden ser: percibir los destellos separados, es decir posible discriminación de dos colores distintos, o percibir un color único de fusión, color que sería distinto al de cada destello. (ver Thomas et al, 1961)

Esta experiencia será descrita por el porcentaje o probabilidad de percibir el color de fusión ante estímulos caracterizados por un TID.

Al igual que en el caso anterior, este estímulo se presentará en distintos estados coherentes, de forma de encontrar, si la hay, una relación con el ritmo alfa y así poder relacionarlo con el anterior experimento.

## 2. Metodo

### 2.1 Descripción general

Nuestra intención es entonces presentar los estímulos correspondientes a dos distintos experimentos, en diferentes momentos del ritmo alfa, con el propósito de comparar las distintas percepciones que se den. Para ello la metodología utilizada se presentará en forma breve para posteriormente describirla con más detalle ( Fig-1).

Los dos tipos de experimentos usados corresponden a:

a) la percepción de simultaneidad de un par de destellos monocromáticos sucesivos.

b) la percepción de un color de fusión de dos destellos bicromáticos sucesivos.

En las dos experiencias , cada destello del par no está separado espacialmente y la duración de cada uno es de 6 mseg.

Para establecer una relación con el ritmo alfa, se dispara el primer destello en lugares determinados del ritmo alfa del sujeto ( registro occipital ) ; el segundo destello está determinado por el tiempo interdestello ( TID ) definido por el experimentador y que constituye, de hecho, la variable independiente del experimento.

Los lugares de disparo tienen dos características principales: en primer término corresponden a zonas del ritmo alfa cuyo valor de amplitud supera una cota o valor fijo, la segunda característica es que el punto preciso de disparo

puede ser de una de las siguientes cuatro formas o condiciones de disparo ( Fig. 2 ):

- (1) el punto extremo positivo de una oscilación.
- (2) el punto de cruce por cero volts en la fase descendente.
- (3) el punto extremo negativo de una oscilación.
- (4) el punto de cruce por cero en la fase ascendente.

Cuando estas condiciones se presentan en el ritmo alfa del sujeto, es decir cuando no sólo se presenta una de las cuatro formas o condiciones experimentales, sino además los valores extremos superan la cota o valor fijo, será por definición un estado relevante del sujeto para el experimento y serán los momentos de disparo de los estímulos ( esto se discutirá con mayor detalle posteriormente). El experimento control es el disparo del primer destello del par en forma independiente del ritmo alfa.

El sujeto está sentado dentro de una cabina oscura y en silencio, mirando una luz de fijación que está a menos de 2 grados del lugar donde se presentan los estímulos. Estos se presentan en momentos que él defina como dispuesto a ser estimulado, por medio de un control directo que tiene el sujeto sobre su estimulación; en general tales momentos no sobrepasan 5 minutos, lo que habitualmente implica la presentación de unos 30 estímulos. Se denominará sesión a estos minutos de presentación de estímulos; cada experimento total está constituido por 4 a 5 sesiones, las que están

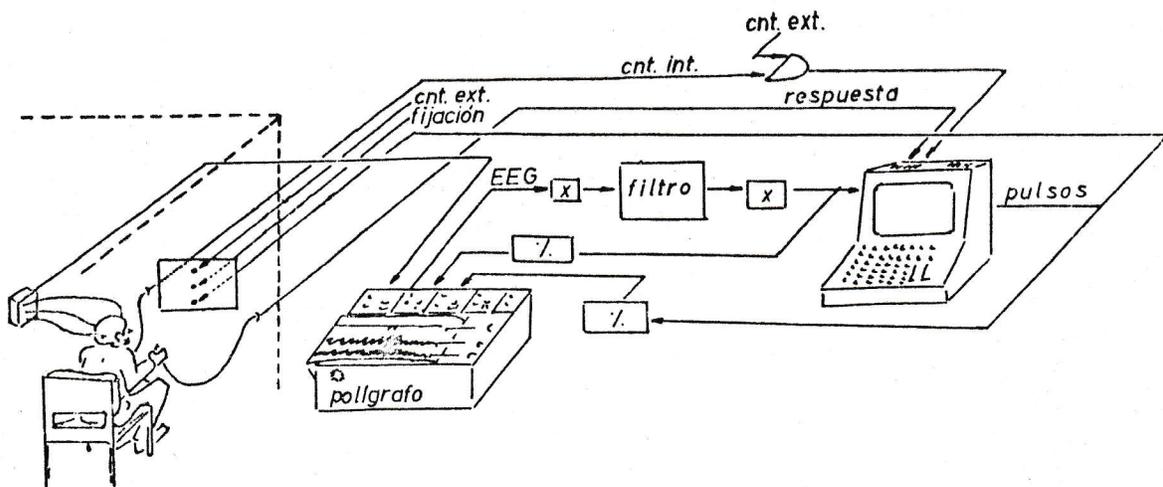


Fig. 1: Esquema del sistema experimental (ver texto).

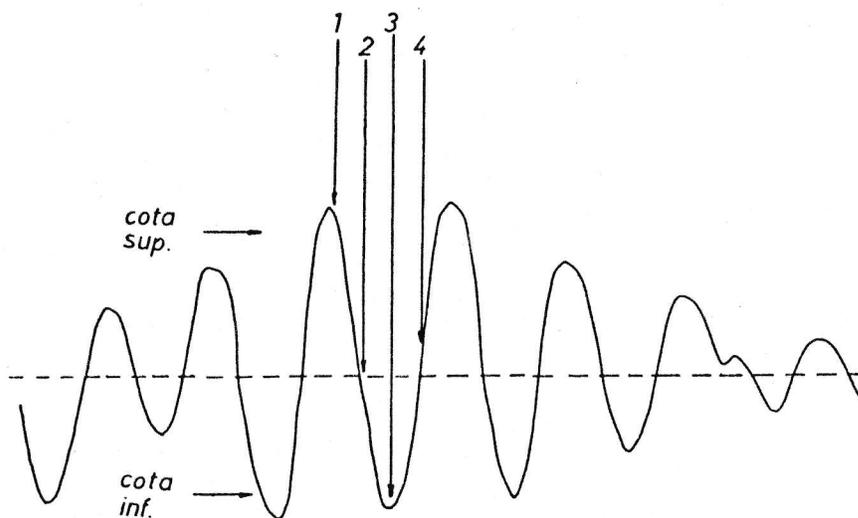


Fig. 2: Condiciones de disparo. El momento de disparo de los estímulos corresponden a condiciones particulares del ritmo alfa que satisfacen dos aspectos: por un lado, un cierto nivel de voltaje y por otro, una determinada fase del ritmo.

separadas por uno o dos minutos en que el sujeto descansa con una luz ambiental tenue y difusa dentro de la cabina de experimentos, minutos que aprovecha el experimentador para cambiar las condiciones experimentales si lo desea.

El experimentador tiene tres posibles programas de estimulación: a) una presentación independiente del ritmo alfa ( control ). b) una presentación en los extremos, y finalmente c) una presentación en los cruces por cero del ritmo alfa . El sujeto ignora de cuál forma está siendo estimulado, por ende ignora que valor extremo ( positivo o negativo ) o cruce por cero ( ascendente o descendente ) está siendo utilizado.

La respuesta es manual, debiendo el sujeto apretar un interruptor manual toda vez que perciba simultaneidad o el color de fusión ( respuesta positiva ) - según el experimento realizado - en caso contrario no debe apretar tal interruptor.

La respuesta a cada par de destellos ( que constituyen un estímulo ) es acumulada en el computador - North Star , Z80 - a lo largo de una sesión de presentaciones. Al final de ésta pueden mostrarse los datos acumulados por medio de tablas que presentan, para el o los TID usados, el porcentaje de respuesta positiva en la sesión.

## 2.2 Detalles

### 2.2.1 Cabina de Estimulación

El sujeto se encuentra sentado dentro de una cabina oscura y aislada en gran medida del ruido externo. A 60 cm frente a él está el panel de estimulación, que presenta dos luces (LED, Light Emitting Diode) amarillas, una de ellas sirve de luz de fijación y su intensidad es muy baja - sólo es posible observarla cuando el individuo se adapta a la oscuridad de la cabina -, y está prendida en el curso de todo el experimento; la segunda luz ubicada arriba de la primera, es una luz de control (control externo) que sólo es prendida cuando el experimentador detiene una sesión de presentación, momento como señalábamos que es aprovechado por el sujeto para descansar o por el experimentador para cambiar las condiciones experimentales.

Los estímulos luminosos se ubican un centímetro por debajo de la luz de fijación, sobre el panel se ha colocado un papel tipo diamante, con el fin de dispersar la emisión de los LEDs.

El sujeto tiene un interruptor en cada mano, uno de ellos es un interruptor de control (control interno) que es funcional sólo cuando el LED de control externo en el panel de estimulación está apagado (cuando el experimentador traspasa la ejecución del experimento al sujeto dentro de la cabina), en este caso es usado por el individuo para definir el

comienzo y el final de una sesión , pudiendo por tanto controlarla a voluntad de acuerdo al estado de cansancio que él presente . El segundo interruptor corresponde al de respuesta , ya señalado , que se le pide apretar cuando la percepción sea positiva.

En la pared interna lateral de la cabina , se ubica una caja de enchufes donde son conectados los electrodos del EEG que se le han puesto a la persona.

### 2.2.2 Estimulos

Son básicamente dos destellos consecutivos , espacialmente no separados y temporalmente separados por el TID ; para el caso del experimento sicofísico (a) , los destellos fueron rojos (intensidad luminosa 0.5 mcd) , para el experimento (b) los destellos fueron rojo - verde (intensidades luminosas en Tabla-2).

Las luces utilizadas fueron LEDs ; para el primer caso un LED convencional rojo (MV5053); en el segundo caso un LED bicolor (MV5491), cuya emisión varia de acuerdo al sentido de polarización en sus patas.

Los destellos , con una duración de 6 mseg., son controlados por un bit de la salida digital del computador [ tarjeta I/O Cromemco] ; se ha utilizado la salida digital en vez de la análoga , por dos razones : primero, porque la intensidad luminosa del destello , que es

función de la corriente que circula a través del LED , puede ser controlada fácilmente con una resistencia en serie con el LED , lo que implica necesitar sólo dos niveles fijos de voltaje - que la salida digital satisface ; la segunda razón es que la salida digital no presenta drift , a diferencia de la salida analógica que presenta un drift de cerca de 10 mV/seg, por lo que se necesita continuamente redefinir su valor de voltaje , hecho que produce una dificultad innecesaria en el programa.

Para los pares rojo-rojo se utiliza un solo bit de la salida digital , para el par rojo-verde se usan dos bits de ella , uno para cada destello.

El control de la intensidad se hace en el primer caso ( pares rojo-rojo ) simplemente por medio de una resistencia variable en serie con el LED . En el segundo caso es necesario controlar independientemente la intensidad de cada color ( las razones serán discutidas posteriormente ); esto se hace por medio de una red de transistores que permite controlar independientemente la intensidad de la corriente que circula en uno u otro sentido al producirse uno u otro color . Los detalles de construcción de los circuitos se presentan en el Apéndice 1.

### 2.2.3 Control externo e interno

Para evitar que la presentación de estímulos se realice en momentos de agotamiento del sujeto , se implementó un

sistema de control de la ejecución de los programas estimuladores. Básicamente consiste en que el programa continuamente controla un bit ( bit0 de entrada digital ) y sólo ejecuta el programa principal que permite la estimulación, cuando esta entrada es activada ; en caso contrario no ejecuta el programa y permanece controlando tal entrada.

La entrada es activada directamente por intervención del sujeto de experimentación , por medio del interruptor manual de control interno ; es necesario si que previamente este control sea transferido desde el exterior ( el experimentador ) al interior ( el sujeto ) , momento señalado por el apagado del LED amarillo de control externo en el panel de estimulación, en caso contrario el sujeto no tiene el control del programa aunque accione su interruptor manual . A pesar que desde el exterior es imposible activar la entrada del computador , siempre es posible desactivar tal entrada desde el exterior , traspasando nuevamente el control al experimentador , cuestión que es señalada al sujeto por el prendido del LED amarillo de control en el panel de estimulación , permitiendo terminar la sesión aunque el sujeto esté en condiciones de seguirlo.

Cada vez que el sujeto tiene el control y acciona el interruptor, comienza la estimulación visual, hasta que el sujeto nuevamente accione el interruptor o el experimentador

lo haga externamente; en el primer caso el control sigue estando en el ambiente interno, pudiendo el sujeto nuevamente accionar su interruptor y proseguir con su estimulación, en el segundo es necesario que el experimentador traspase el control desde su ambiente al del sujeto.

Todo el lapso en que se está produciendo la estimulación es señalado al experimentador por medio de un LED ubicado en su propia caja de control.

El circuito digital construido para estos efectos se muestra en el Apéndice 1.

#### 2.2.4 EEG, amplificación, filtrado, retardo y registro

Como ya señalábamos, los estímulos son presentados en momentos particulares del ritmo alfa: se desea sean indicadores de momentos distintos y relevantes del estado neural del sujeto. El ritmo alfa del sujeto se consigue por filtrado del electroencefalograma. Este se obtiene por registro bipolar, occipital-lóbulo de la oreja (O2-A1), el electrodo de tierra sobre el nasion (Sistema 10/20). Los electrodos son convencionales Ag/AgCl con pasta conductora. Para mantener los electrodos en su sitio evitando cambios en su resistencia se aseguraron los electrodos O2 y tierra mediante un cintillo; la resistencia entre cualquier par de los electrodos no superó en ningún caso 15 kohms, siendo un valor promedio 7 a 8 kohms.

Fenómenos de ruido notados por fluctuaciones en el registro sólo aparecen cuando la resistencia entre los electrodos supera los 20 kohms, como se comprueba al cortocircuitar los electrodos con resistencias de dicho valor.

La señal es preamplificada en un polígrafo Gilson (módulo IC-CC), que además es utilizado para registrar en papel el EEG.

La salida del polígrafo es nuevamente amplificada antes de su entrada al filtro, con un amplificador operacional 741, con el método convencional de amplificador no inversor.

La salida del filtro que corresponde al llamado ritmo alfa, es amplificada antes de ser introducida al computador, con una amplificación variable utilizando el sistema convencional ya dicho. La amplificación variable permite utilizar en todo su magnitud el rango dinámico de las entradas análogas del computador.

La necesidad de realizar amplificaciones antes y después del filtro se debió a una característica del filtro, el cual introduce un nivel d.c. en su salida, de forma que si se hiciese la amplificación después del filtro, este nivel d.c. también hubiese sido amplificado; esto implicaba que la puerta análoga de entrada se saturase en sólo uno de sus extremos de voltaje (extremo positivo ya que el d.c. también lo es), aún a niveles bajos de amplificación, no pudiendo utilizar todo el rango de voltaje funcional de la puerta del

computador ( 2.54 a -2.56 volts ). Tampoco es conveniente colocar un condensador en serie con la salida del filtro con la idea de eliminar el potencial d.c., porque introduce un retardo en la señal.

La señal correspondiente al ritmo alfa, además de ser introducida al computador, es reducida mil veces por medio de dos amplificadores operacionales; uno reduce e invierte la señal y el segundo vuelve a reinvertir corrigiéndola, esta señal es introducida a la entrada a.c. de un modulo IC-MP del poligrafo y es utilizado para registros en papel de la onda alfa.

La señal de salida del computador correspondiente a los destellos, también es dividida mil veces y puede ser registrada en papel.

En resumen se pueden registrar en todo momento el EEG, el ritmo alfa y los estímulos, permitiendo corroborar los momentos de presentación con el estado de actividad electroencefalográfica del sujeto.

En experimentos previos se siguió los movimientos oculares en los momentos de sesión experimental, para esto se colocó un cuarto electrodo lateral bajo el ojo, utilizando un registro bipolar con el electrodo sobre el nasion, y se registró en papel.

Las características del filtro utilizado son las siguientes: frecuencias de corte 7.7 Hz y 18 Hz., las

pendientes a uno y otro lado fueron: ascendente 19 dB/octava y descendente 18 dB/octava.

El sistema completo introduce un retardo en la señal de 94 msec. en su mayor parte debido al filtro, deberá tomarse en cuenta esta característica a lo largo de toda la experiencia. Para detalles de la características y retardo del sistema ver Apéndice 2.

#### 2.2.5 Condiciones de disparo, cotas

La idea de presentar estímulos en estados distintos del sistema nervioso del sujeto es para comparar la percepción en cada uno de ellos. Es necesario por lo tanto que todas las presentaciones en uno de estos estados sean comparables entre si.

Es preciso entonces poder aislar y caracterizar dichos momentos de actividad neuronal cuya conducta asociada es similar o comparable.

Definiremos como estados a estas configuraciones particulares de actividad neuronal y diremos que son coherentes cuando la conducta asociada a ellos puede considerarse como única.

Para los fines particulares de la experiencia, al estar restringido el fenómeno a percepciones visuales, podemos limitar nuestra definición de una dimensión global a una local; en lo sucesivo al decir estado nos referiremos a un estado local, a una configuración de actividad neural local.

El medio con el cual se caracterizarán los estados será el ritmo alfa, y hemos definido una cota o valor fijo de voltaje, de modo que cada vez que el ritmo alfa sobrepase tal nivel diremos que el estado es coherente. La demostración de que efectivamente lo es, será a posteriori, como se deduce de la definición de coherencia, en terminos de la repetitividad de los resultados (o conducta asociada).

La elección de esta cota de voltaje no ha sido arbitraria, se han tomado en cuenta dos características del ritmo alfa, a saber, su amplitud y las variaciones en el semiperíodo de las oscilaciones. Si intentáramos hacer una interpretación de estas dos características en terminos neuronales, podríamos pensar que un aumento de amplitud implica que un mayor número de células presentan una actividad eléctrica similar; una mayor constancia en el valor del semiperíodo (disminución de su varianza) quizá implique una similar cinética temporal en su actividad eléctrica.

Si lo que buscamos es un estado coherente podría pensarse que éste está presente cuando un gran número de células tienen una actividad eléctrica similar tanto en su magnitud como en su cinética temporal, lo que se reflejaría en el ritmo alfa, y un estado sería tanto más coherente cuando el ritmo alfa presente sea de mayor amplitud y de menor variación en el semiperíodo de sus oscilaciones.

En términos de la cota esto implica que su magnitud,

debe ser aquel máximo valor de voltaje sobre el cual las oscilaciones que se presenten tengan una máxima constancia en su semiperíodo. Para ello es necesario conocer una función que relacione un voltaje fijo con las variaciones en el semiperíodo de las oscilaciones que sobrepasen tal voltaje. Llamaremos a tal función: coherencia en frecuencia ( Cf ), la cota será aquel voltaje que maximice esta función.

Por otra parte hay otra característica del sistema experimental que debe ser tomada en cuenta al definir el valor de la cota. Hemos dicho que el sistema retarda la señal en promedio 94 mseg. (casi un período promedio del ritmo alfa) , en otras palabras, el primer destello del estímulo es disparado por una actividad cerebral que ocurrió 94 mseg. antes. Si nosotros queremos presentar los estímulos en lugares coherentes esto obviamente nos presenta un problema de incertidumbre.

La existencia de dicha limitación experimental nos obliga a distinguir dos tipos de cotas: una, la operacional, corresponde a la cota utilizada para disparar el estímulo, ( ver Fig 3 ); la segunda corresponde a la cota a que nos referíamos anteriormente, la llamaremos cota real, porque es la que realmente define la coherencia del sistema. Como el retardo es de casi un período de onda, las oscilaciones que definen si el estado es coherente, es decir que superan la cota real, serán las dos oscilaciones siguientes a la que

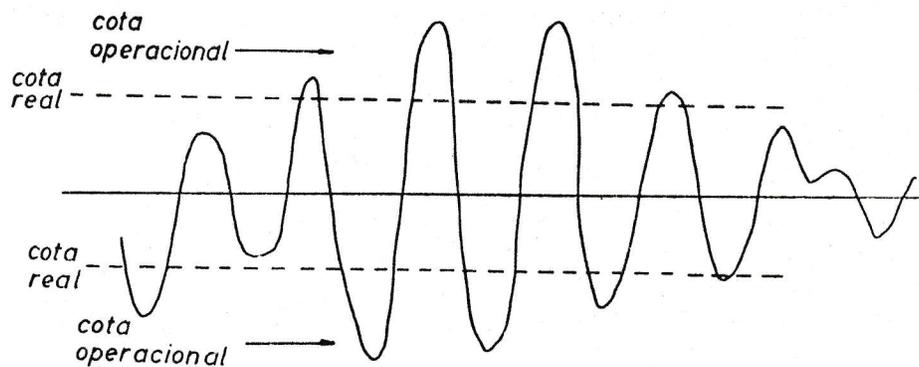


Fig. 3: Distintos tipos de cotas. Interesa conocer un voltaje de disparo del estímulo (cota operacional), tal que las oscilaciones que lo superen presenten en sus ciclos siguientes una máxima constancia en cuanto frecuencia y amplitud (cota real).

dispara el estímulo.

Nos interesa entonces conocer aquella cota operacional, la que asegure que toda oscilación que le supere presente una gran probabilidad que las oscilaciones posteriores sobrepasen la cota real; para esto previamente es necesario conocer una función de probabilidad condicional, que relacione voltaje con la probabilidad que de un trío de oscilaciones, las dos oscilaciones últimas lo superen dado que la primera sobrepasó un valor dado, claramente tendremos una familia de curvas para cada valor dado; llamaremos a tales funciones, coherencia temporal (  $C_t$  ).

Si definimos coherencia total como la suma de la coherencia en frecuencia y temporal:

$$C = C_f + C_t$$

queremos que la coherencia total sea máxima, para ello podemos derivar la ecuación e igualar a cero,

$$C' = C_f' + C_t' = 0$$

esto significa que  $C_t' = -C_f'$ , el valor de voltaje por el cual esta igualdad se produce será la cota real y la cota operacional será aquel voltaje dado que define la función  $C_t$ , Tendremos por lo tanto pares de valores de cotas correspondientes a cada una de las curvas de coherencia temporal.

Por último hay una condición más y es que la cota operacional no debe ser tan grande como para que la frecuencia

de aparición de oscilaciones que la superen sea tan pequeña, que la espera entre estímulos cense rápidamente al sujeto experimental, de este criterio dependerá finalmente la elección de uno de los pares de valores de cotas ya señalados.

Se ha podido conocer, por medio de un análisis estadístico del ritmo alfa, las curvas que describen las funciones antes señaladas, tanto la función de probabilidad de coherencia temporal como aquella que describe la coherencia en frecuencia.

El análisis se ha realizado con individuos bajo similares condiciones a las experimentales es decir: dentro de la cabina y atentos a la luz de fijación, de acuerdo a los resultados se ha elegido como cota operacional 2.58 veces el promedio de amplitud del ritmo alfa. Con esto la cota real fue 1.58 veces el promedio, la frecuencia de aparición de tales condiciones es de 1 en 7 segundos.

Para detalles de construcción de estas funciones y obtención de las cotas, ver Apéndice 3.

#### 2.2.6 Programas

Todo el sistema de control, estimulación e ingreso de datos es a través de un computador North Star-Z80. Los programas están básicamente estructurados en un programa de control en lenguaje BASIC y una serie de programas adjuntos, que muestrean, producen los pulsos, ingresan datos, etc.

Todos estos, por la necesidad de velocidad de adquisición, están en lenguaje ASSEMBLER.

Ya se ha mencionado la existencia de tres programas de estimulación: uno para el disparo independiente del ritmo alfa, otro para el disparo en los valores extremos, y finalmente para el disparo en los valores medios del ritmo alfa.

Para el primer caso, en que el ritmo alfa del sujeto no es relevante y el primer destello del estímulo es disparado en cualquier instante del ritmo alfa, se ha simulado la espera variable entre estímulos, cuestión que aparece en los otros dos casos - al aparecer los estímulos sólo cuando se satisfacen las condiciones dadas por la cota-, por medio de una tabla de números al azar que regula dicho lapso de tiempo, esta tabla presenta valores extremos de 3 a 13 segundos.

Para el caso del segundo programa, básicamente el programa deriva la oscilación alfa y cuando esta derivada cambia de signo, supone que corresponde a un valor extremo de una oscilación y luego compara este valor extremo con el de la cota, si no lo supera sigue buscando otras oscilaciones hasta que encuentra un máximo que satisface las condiciones y dispara el primer pulso del destello. La elección de cual valor extremo buscar, sea positivo o negativo, se hace por intermedio de una tabla al azar que señala consecutivamente el extremo que debe buscar.

Por último el programa que dispara en los cruces por cero consiste en una extensión del anterior. Cuando el programa anterior encuentra un máximo que satisface las condiciones de cota, este programa prosigue su búsqueda y sólo dispara cuando el valor de voltaje muestreado cambia de signo ( indicio de que el ritmo alfa cruza por cero volts).

Como ya dijimos, el tiempo que separa el segundo destello del primero es definido por el experimentador ( TID ), pudiendo este fijar uno o más TID para una sesión; regularmente se presentan estímulos con diversos TID, ordenados al azar, sólo cuando se está trabajando en un comienzo con un individuo, de forma de encontrar aquel estímulo que esté en el límite en cuanto a percepción se refiere, es decir que presente un 50% de ser percibido de una forma y por supuesto un 50 % de la otra. Llamaremos a este estímulo TID-50. Cuando éste es encontrado los experimentos posteriores utilizan un sólo TID, con un valor alrededor del TID-50.

En todos los programas que realizan muestreo del ritmo alfa, este se hizo tomando valores cada 6 mseg.

#### 2.2.7 Registro y Resultados

El ritmo alfa se sigue constantemente en un osciloscopio; se utiliza al comienzo de una experiencia para confirmar la bondad de los electrodos, y como forma de asegurar que se esta registrando realmente el ritmo alfa.

Esto, en las personas que lo presentan, se hace por medio del fenómeno de bloqueamiento, en que el ritmo alfa disminuye notoriamente su amplitud cuando el sujeto abre sus ojos luego de mantenerlos un tiempo cerrados ( Fig 5, patrón R ). Además el osciloscopio sirve para confirmar la eficacia de los programas, al disparar el barrido del osciloscopio con el primer destello, y observar si los trazos disparados corresponden a situaciones compatibles con las condiciones de disparo.

Por intermedio del polígrafo se pueden tener registros sobre papel del EEG, ritmo alfa y estímulos luminosos, que constituyen otro medio de confirmación que los estímulos se presentan en estados particulares del ritmo alfa ( Fig 4 ).

Los resultados se presentan en la impresora, por medio de tablas, que muestran para el o los estímulos usados ( definidos por los diversos TID ), el número total de presentaciones junto con el número de respuestas positivas para cada estímulo.

Se considera como respuesta perceptual a un estímulo dado el porcentaje de respuestas positivas, porcentaje que también es mostrado en la tabla de respuestas.

### 2.3 Experimentos

En la primera sesión experimental con una persona, ésta es familiarizada con la situación; luego se le presenta una

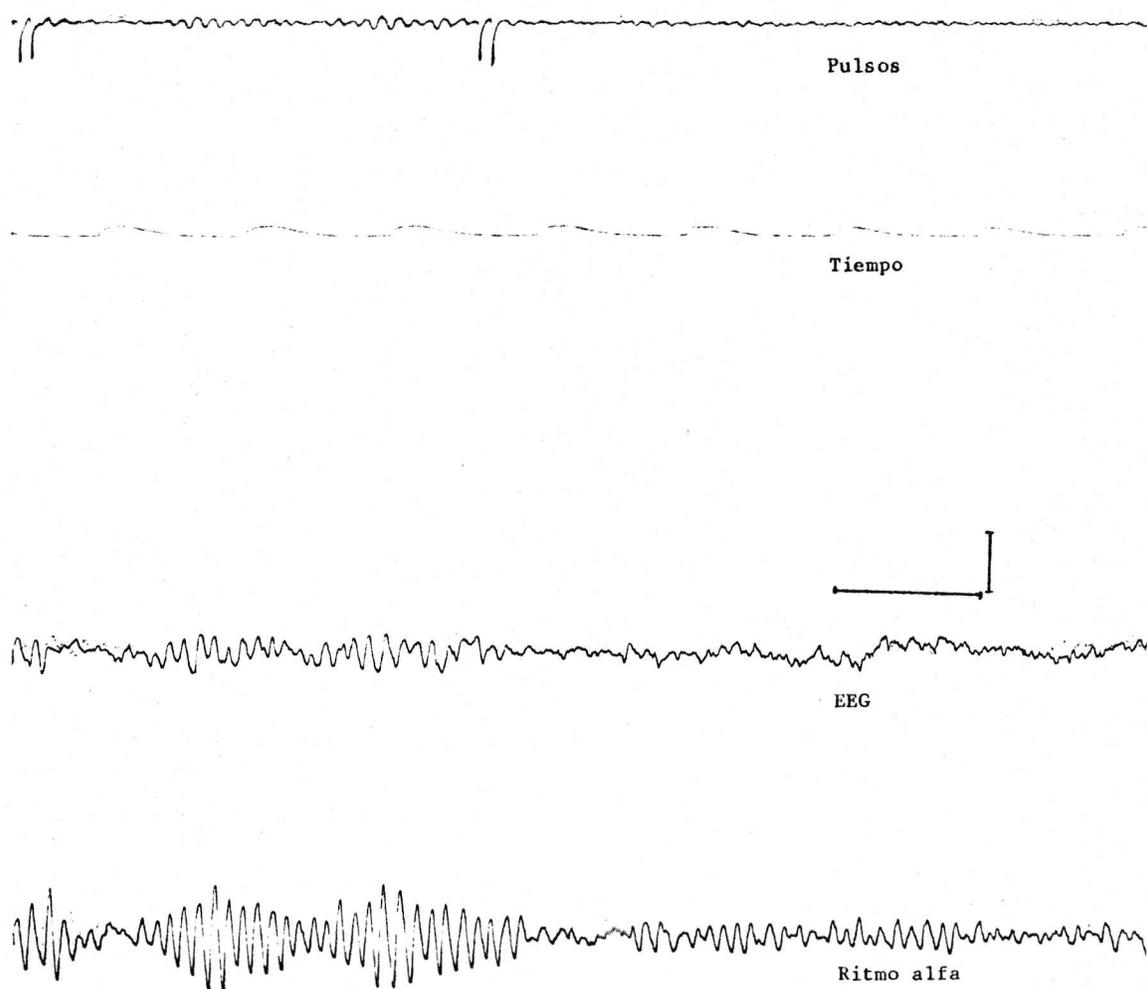


Fig. 4: Registro simultáneo de la actividad electroencefalográfica: ritmo alfa, pulsos y tiempo. Las escalas corresponden a 100  $\mu$ V y 1 seg.

secuencia ordenada de estímulos para que defina el límite al cual deja de percibir simultaneidad o el color de fusión, en general se le instruye para que tal límite esté en aquellos estímulos que perciba por lo menos titilantes o de color amarillo pálido respectivamente y no necesariamente en aquellos que presenten una clara separación entre destellos. Luego de esta sesión se le presentan siempre estímulos ordenados al azar y sólo se realiza el anterior protocolo si la persona lo pide.

A lo largo de las sesiones experimentales, se va construyendo la curva sicofísica que describe la percepción, de simultaneidad o color de fusión según sea el caso.

### 2.3.1 Curvas sicofísicas

Las curvas sicofísicas que describen los dos tipos de experimentos se construyen presentando un cierto número de veces (un promedio de 15) diferentes estímulos, ordenados al azar como lo permite el programa que dispara los pulsos independientemente del ritmo alfa.

Con esto se obtiene una respuesta perceptual para cada caso, es decir el porcentaje del total de presentaciones de un estímulo que son percibidos como simultáneos.

Luego se trabaja con estímulos comprendidos alrededor de una respuesta perceptual de un 50% con lo que queda delimitado el TID-50. En esta región, por lo tanto, el número de presentaciones es mayor (con promedio 35) para cada estímulo.

Posteriormente, en los experimentos en que se sincroniza el disparo con el ritmo alfa, se trabaja solamente con estímulos alrededor del TID-50; si cada sesión dura unos 5 minutos y la frecuencia de estimulación es de 1 cada 7 segundos, el número de presentaciones es alrededor de 40, siendo la mitad en una condición de disparo y la otra en la opuesta.

Como se trabaja con estímulos próximos al TID-50, se obtiene con ello parte de la curva sicofísica para dicha condición de disparo, en justamente el paso de la percepción de simultaneidad a secuencialidad.

### 2.3.2 Presentación de resultados, gráficos.

Debido a que los experimentos tienen dos tipos de variables dependientes, por un lado el estímulo caracterizado por el TID y por otro la condición de disparo, básicamente descrita por una fase del ritmo alfa, los resultados serán presentados de dos maneras: en el plano respuesta perceptual vs estímulo y en el plano respuesta perceptual vs condición de disparo.

En el primero, la ordenada corresponde a la respuesta en porcentaje de simultaneidad, la abscisa corresponde al estímulo, y constituyen las curvas sicofísicas tradicionales.

En el segundo, la ordenada es similar a la anterior y la abscisa corresponde a la fase de disparo del estímulo,

ordenados como extremo superior de una oscilación, cruce por cero en la fase descendente, extremo inferior y cruce por cero en la fase ascendente.

En todos los registros y esquemas presentados de electroencefalograma o ritmo alfa, corresponde una deflexión positiva a una positividad del electrodo occipital.

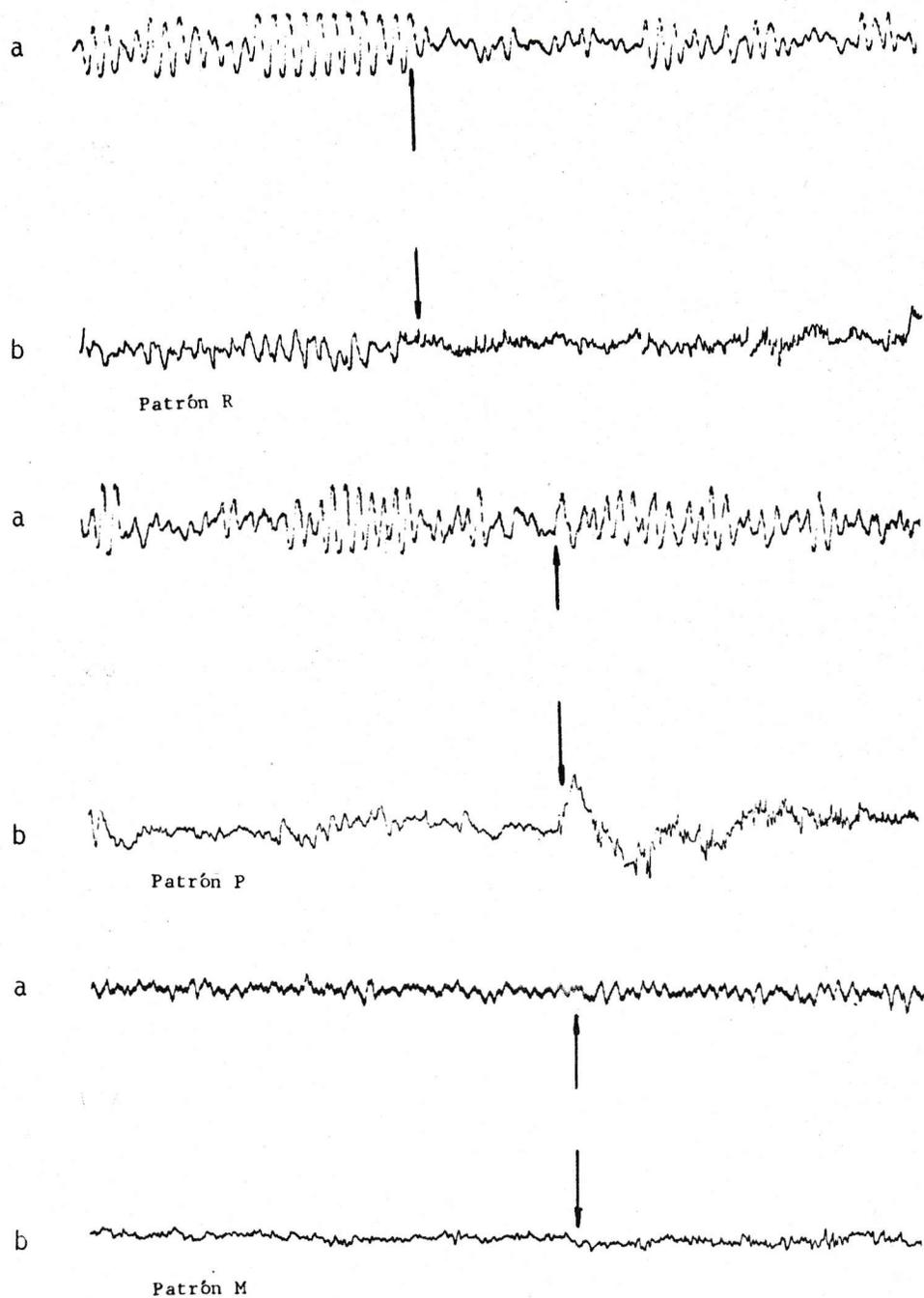
### 3. Resultados

#### 3.1 Observadores

Se trabajó en forma sistemática con seis personas, todas ellas miembros de la facultad. En sólo tres de ellas ( IC, RS, JG ) se observaron diferencias en la respuesta perceptual dependiendo del momento de disparo con respecto al ritmo alfa. De ellas IC y JG tienen una visión normal, RS presenta una leve miopía (-0.25 dpt.), no usa anteojos.

Todos los resultados con experimentos monocromáticos y bicromáticos que se presentan se refieren a estas tres personas. Además presentan características comunes en su ritmo alfa, por lo que no resulta arbitrario el trabajar con sólo ellas tres, si no que constituye, más bien, una selección de personas con ciertas características precisas en su ritmo alfa, lo que hace pensar en propiedades estructurales comunes.

De acuerdo con la clasificación dada por Walter (1961); existirían tres clases de patrones alfa: unas personas presentan claramente el fenómeno de bloqueo, es decir cambios atencionales como abrir los ojos luego de tenerlos cerrados, producen grandes cambios en la magnitud del ritmo alfa, son denominados grupo R ( ritmo alfa bloqueable ). Existen otras personas que también tienen ritmo alfa, pero el fenómeno de bloqueo sólo se produce con cambios atencionales mayores, como cantar o hablar, se denomina grupo P ( ritmo persistente ). Finalmente existen personas que no tienen un ritmo alfa



**Fig. 5:** Ritmo alfa (registro a) y EEG (registro b) para los tres patrones alfa descritos. La flecha indica el momento de abrir los ojos. La barra horizontal corresponde a 1 segundo.

significativo, ni siquiera con los ojos cerrados, las que pertenecen al grupo M ( sin ritmo alfa ), ( ver Fig-5 ). De nuestras seis personas, una pertenece al grupo M, otra al grupo P y las cuatro restantes al grupo R. En este último grupo se incluyen IC, JG y RS, es decir, todos ellos presentan una característica común, a saber: un ritmo alfa bloqueable.

En general todas las personas debieron tener un entrenamiento previo de 3 a 4 experimentos, antes de observar una respuesta perceptual repetitiva.

### 3.1.1 Movimientos oculares

En un primer momento, en cada sesión experimental se registraron los movimientos oculares. Se observó que éstos no aparecieron antes y durante la presentación de un estímulo, y si los había, era posterior a ello. Estos movimientos se hacían más frecuentes cuando la sesión excedía los 7 a 10 minutos de duración, en tal caso la persona informaba la presencia de fosfenos en movimiento, pérdida de la dimensionalidad de la cabina, pérdida de la distancia al LED de fijación, algunas veces resplandores multicolores y en ocasiones la percepción en el momento de la presentación de dos estímulos separados espacialmente, signo inequívoco de movimientos oculares. Las sesiones cuyos datos presentamos no excedieron nunca los 5 a 6 minutos.

Tabla 1: Se muestran los resultados obtenidos en el experimento monocromático para cada una de las tres personas con quienes se trabajó.

IC

EXPERIMENTO MONOCROMATICO

CONDICION DE DISPARO

TID (mseg)	INDEPEN- DIENTE	ARRIBA	CERO DES- CENDENTE	ABAJO	CERO ASCEN- DENTE
50	100:23				
55	78:23				
60	91:23				
65	73:23				
	53:28	39:23		41:24	
69	47:44	43:46		70:48	
70	60:23				
	45:44				
	42:64	23:26		58:24	
	58:34				
71	23:26	45:20	55:20	55:20	42:19
72	55:29	30:20	25:20	65:20	47:21
73	48:35		46:28		29:27
	21:19				
75	33:24	20:20		42:21	
	34:23				
80	21:23				
		20:30		19:31	
85	4:23				
90	4:23				

(\*)

(\*) la persona dió señales de cansancio.

primera cifra corresponde al porcentaje de simultaneidad  
(respuesta perceptual):  
segunda cifra corresponde al número de presentaciones.

J G

EXPERIMENTO MONOCROMATICO

CONDICION DE DISPARO

TID (mseg)	INDEPEN- DIENTE	ARRIBA	CERO DES- CENDENTE	ABAJO	CERO ASCEN- DENTE
45	100:14				
55	100:14				
60	100:13 88:9				
65	92:14 69:42 77:9				
68	78:14 78:14				
70	55:27 70:20 81:27	52:25	61:21	70:24	44:18
72	56:25 70:24	66:50	70:27 66:33	78:52	46:26 71:32
74	59:47	61:18		83:18	
75	65:23 76:13 55:9	50:22	55:27	77:22	20:30
80	42:14 44:9				
85	50:14 22:9				
90	37:14 11:9				
95	21:14				
100	14:14				

(\*)

(\*) la persona dio señales de cansancio.

primera cifra corresponde al porcentaje de simultaneidad  
(respuesta perceptual):

segunda cifra corresponde al número de presentaciones.

R S

EXPERIMENTO MONOCROMATICO

CONDICION DE DISPARO

TID (mseg)	INDEPEN- DIENTE	ARRIBA	CERO DES- CENDENTE	ABAJO	CERO ASCEN- CENDENTE
45	100:13				
50	100:13				
55	100:13				
60	100:40				
	92:13				
	95:23				
65	94:58	97:72		100:72	
	100:13				
	100:13				
68	100:24	100:34		100:33	
70	88:36				
	100:13				
	100:23				
75	78:57				
	84:13				
	95:24				
76	85:20				
77	88:36				
78	90:11	100:12		100:13	
80	100:32	85:20		95:21	
	84:13				
	95:23				
85	69:13				
	86:23				
87	53:26	65:26		91:24	
	86:23				
88	89:39	54:22		72:22	
89	23:13		66:21		59:22
	36:22	57:19		70:20	
90	0:47				
	20:24				
		27:11	60:10	50:10	44:9
	27:11				
	7:13				
	52:23				
95	44:29	31:35		35:34	
	0:13				
	34:23				
100	12:24				

primera cifra corresponde al porcentaje de simultaneidad (respuesta perceptual):

segunda cifra corresponde al número de presentaciones.

### 3.2 Experimentos monocromáticos.

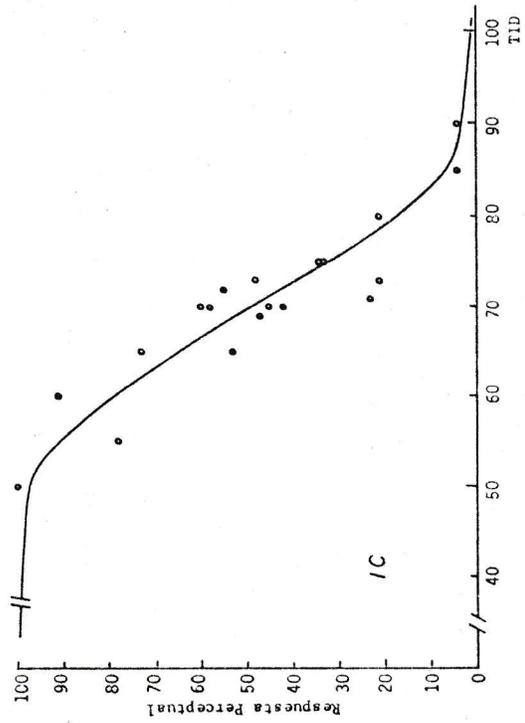
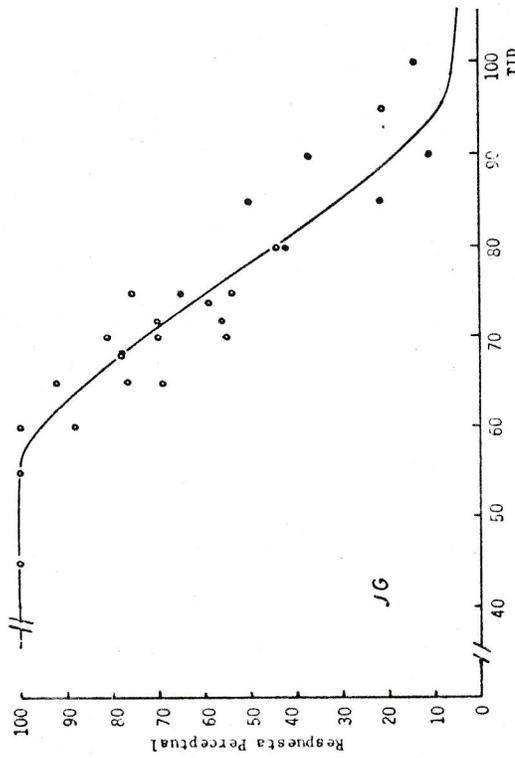
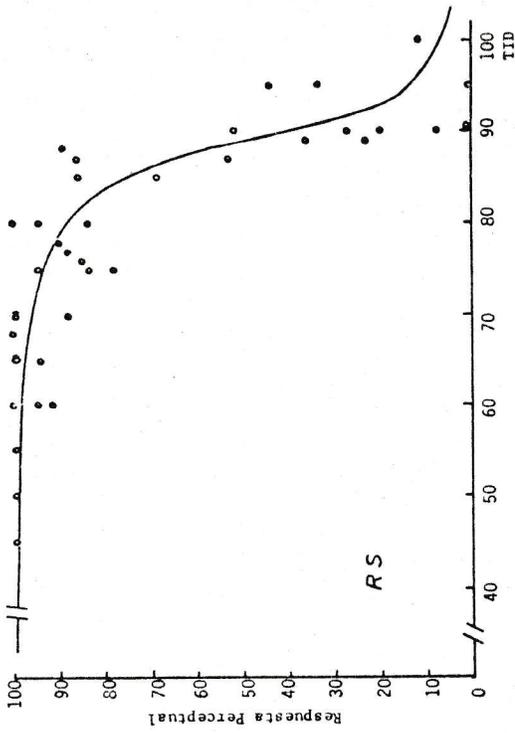
Para el caso de los experimentos monocromáticos, las respuestas obtenidas se presentan en la Tabla-1, para el caso sincronizado y no sincronizado al ritmo alfa, la curva psicofísica control respectiva para estas tres personas se muestra en la Fig-6.

Se observa, en general, que la percepción de simultaneidad cae rápidamente y no linealmente: de 100% de simultaneidad a 0% con un TID de 50 msec a 100 msec.

#### 3.2.1 Sincronización con ritmo alfa

Cuando son presentados los estímulos en las distintas fases del ritmo alfa (condiciones de disparo), se observaron diferencias en la respuesta perceptual. Esto se manifiesta en los gráficos respuesta perceptual vs condición de disparo de la Fig-7.

Se observa, en los tres, que un mismo estímulo es percibido más probablemente simultáneo, cuando es presentado en el extremo inferior de una oscilación alfa. No es tan clara la condición inversa, es decir, a la cual este mismo estímulo es percibido con menor probabilidad como simultáneo; en JG esta condición de disparo es el cruce por cero en la fase ascendente, en tanto en IC y RS, este punto se ubica entre éste y el extremo superior de una oscilación; es importante señalar que por efecto de la construcción del gráfico, estas dos condiciones están separadas, pero al ser un fenómeno



**Fig. 6:** Curvas psicofísicas control para la experiencia monocromática de las tres personas con quienes se trabajó. Relacionan la percepción de simultaneidad con dos destellos separados por un tiempo TTD.

Fig. 7: Percepción de simultaneidad de dos destellos separados por un tiempo, TID, en las mismas personas anteriores, cuando se disparan los estímulos en fases del ritmo alfa. Las cifras corresponden al TID de los estímulos utilizados; en la abscisa se ordenan las distintas condiciones de disparo:

arriba: disparo en el máximo de una oscilación alfa.

cero desc.: disparo en el punto de cruce por cero volts en la fase ascendente.

abajo: disparo en el mínimo de una oscilación.

cero asc.: disparo en el cruce por cero en la fase ascendente.

Se observan diferencias en la respuesta para un mismo estímulo, de acuerdo a la fase de disparo.

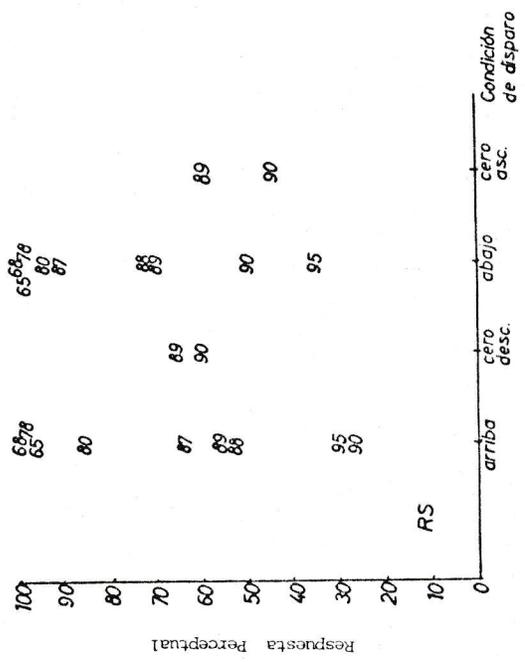
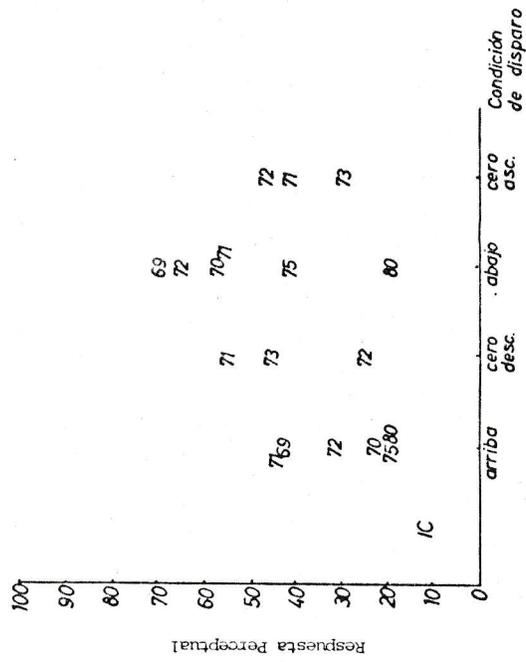
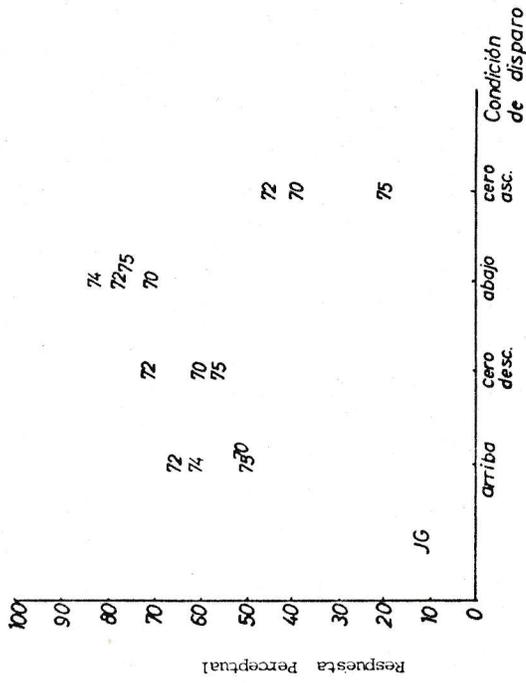


Figura 7

peribdico, en realidad estan contiguas. Lo anterior nos indica que en las tres personas las condiciones de disparo para las cuales un mismo estímulo es percibido de manera más distinta, son el extremo inferior y la fase ascendente de una oscilación; todo esto para nuestras condiciones de registro, en particular aquella referente al retardo introducido en la señal por el filtro.

### 3.2.2 Cuantificación

Como primera aproximación, podemos considerar la fase de caída en la percepción de simultaneidad en las curvas psicofísicas como una función lineal. La recta que aproxima esta región en IC ( 60 - 70 mseg ) para el caso control, tiene una expresión analítica igual a:

$$\text{Respuesta perceptual} = 303.1 - 3.6 \text{ TID}; \quad r = 0.80$$

mientras que las rectas similares para los experimentos sincronizados son:

$$\text{Resp. Percep.} = 245.7 - 3 \text{ TID} ; \quad r = 0.60$$

para el caso de sincronización de la estimulación con el máximo de una oscilación, y :

$$\text{Resp. Percep.} = 330 - 3.8 \text{ TID} ; \quad r = 0.82$$

cuando se dispara el estímulo con el mínimo de una oscilación.

Si se hace un similar análisis para RS en su rango de caída lineal ( 85 - 90 mseg ), las rectas respectivas son:

Resp. Percep. = 1165,7 - 12.6 TID ;  $r = 0.77$ , para el caso control.

Fig. 8: Comparación en dos de los tres sujetos, de las rectas que mejor aproximan los resultados de los experimentos con sincronización al ritmo alfa, con respecto al control, en el rango de disminución de la percepción de simultaneidad:

^ : disparo en el máximo de una oscilación alfa.

v : disparo en el mínimo de una oscilación alfa.

- : experimento control, disparo independiente del ritmo alfa.

Se observa que, como primera aproximación, corresponden a curvas desplazadas a lo largo de la abscisa, con un corrimiento no mayor a 10 mseg. Para detalles de la regresión: ver texto.

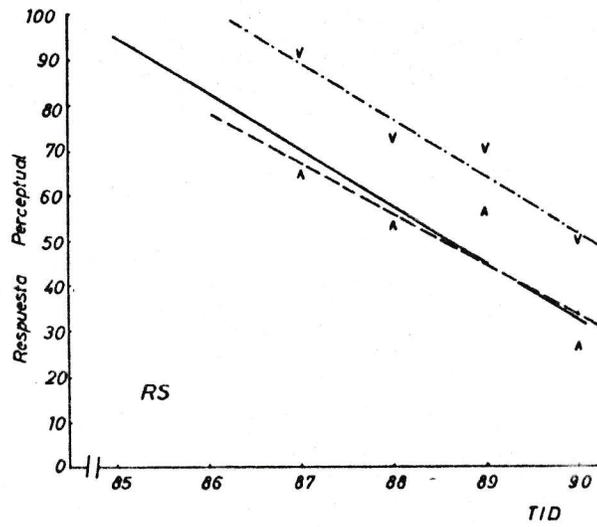
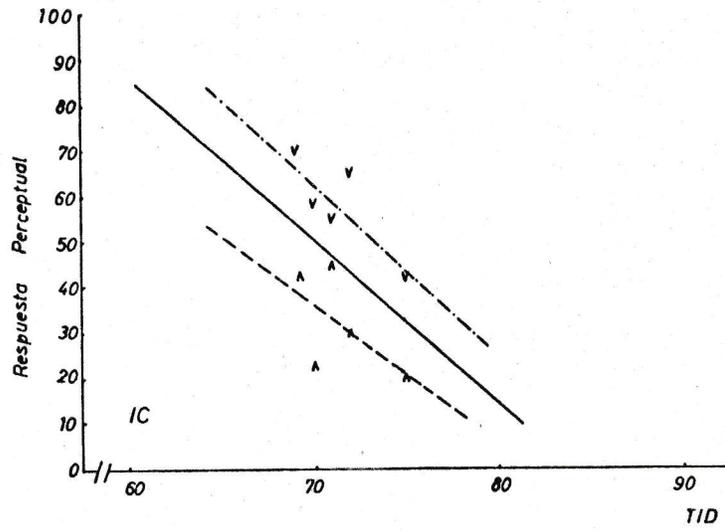


Figura 8

Resp. Percep. =  $1033.1 - 11.1 \text{ TID}$  ;  $r = 0.86$ , para la condición de disparo, máximo de una oscilación.

Resp. Percep. =  $1177 - 12.5 \text{ TID}$  ;  $r = 0.96$ , para el disparo en el mínimo de una oscilación.

Estas rectas se muestran en los gráficos expandidos de la Fig-8.

Se observa que en ambos casos la pendiente se mantiene semejante, a diferencia del intercepto que varía, lo que se visualiza en el gráfico como un desplazamiento paralelo ( a lo largo de la abscisa ) de las rectas que aproximan las curvas psicofísicas para los casos sincronizados con respecto a la curva control.

Esto nos muestra que, como primera aproximación, podemos considerar las curvas psicofísicas correspondientes a cada condición de disparo semejantes a la curva control, pero desplazadas a lo largo de la abscisa. Este desplazamiento para el caso de IC tiene una magnitud media de 8 msec, mientras en RS es de 3 msec.

### 3.3 Experiencia bicromática.

Esta experiencia fue una tarea más difícil que la anterior, sólo se trabajó con las tres personas que ya hemos señalados: IC, JG y RS.

La intensidad de cada color se reguló de forma que el color de fusión percibido por cada observador, cuando el TID era de 80 msec., fuera lo más distinto posible del color de

cada destello por separado, para lo que se necesitó el control independiente de la intensidad de cada emisión del LED bicolor. En general este color de fusión, cuando el orden de los destellos es rojo-verde, se describió como un amarillo brillante.

Bajo estas condiciones, la intensidad del color de cada destello era distinta, siendo menor para el rojo, ver Tabla-2, Posteriormente se utilizó para cada observador sus correspondientes valores óptimos de intensidad, según la Tabla.

Tabla-2 Intensidad luminosa (mcd) para los destellos componentes del estímulo bicolor (LED MV5491)

Persona	verde	rojo
IC	1.3	0.1
JG	1.3	0.1
RS	1.3	0.2

El color de fusión varía si es cambiado el orden temporal de los destellos coloreados, ya sea un par rojo-verde o verde-rojo; el orden óptimo para encontrar un color de fusión con las características ya señaladas fue el par rojo-verde, por lo que se usó éste. Cuando se utilizó el orden verde-rojo, aún variando en amplio rango la intensidad del rojo, no fue posible obtener un color de fusión comparable al obtenido con el otro.

Las respuestas obtenidas bajo las condiciones

Tabla 3: Se muestran los resultados obtenidos en la experiencia bicromática para cada una de las tres personas con quienes se trabajó.

I C

EXPERIMENTO BICROMATICO

CONDICION DE DISPARO

TID (mseg)	INDEPEN- DIENTE	ARRIBA	CERO DES- CENDENTE	ABAJO	CERO ASCEN- DENTE
40	57:7				
50	57:7				
55	44:34 50:8	38:18	42:19	18:16	27:18
58	42:33	9:22		13:23	
60	39:38 20:44 28:7 46:13 45:40 40:22	40:22	40:22	56:23	47:23
65	66:8 36:44 46:64 48:33	17:17 53:26	59:27	12:16 24:25	11:26
69	47:36	38:18		31:16	
70	28:7 23:13 32:4 31:45	12:25	42:14	23:26	14:14
75	50:16 30:26 19:47	30:26		28:25	

primera cifra corresponde al porcentaje de simultaneidad (respuesta perceptual):  
segunda cifra corresponde al número de presentaciones.

J G

EXPERIMENTO BICROMATICO

CONDICION DE DISPARO

TID (mseg)	INDEPEN- DIENTE	ARRIBA	CERO DES- CENDENTE	ABAJO	CERO ASCEN- DENTE
40	90:11				
50	81:11				
60	81:11				
65	16:36 64:31 62:32 35:42 85:28	75:36 48:35	86:37 60:35	72:36 52:34	56:37 61:34
68	25:32	28:14		20:15	
70	64:34 67:34 63:11	40:20	33:15	50:22	26:15
72		56:44	39:23 61:36 64:28	50:44	75:24 68:35 66:30
73	16:24				
80	18:11				
90	8:11				
100	0:11				

(\*)  
(\*)

(\*) la persona dió señales de cansancio.

primera cifra corresponde al porcentaje de simultaneidad  
(respuesta perceptual):  
segunda cifra corresponde al número de presentaciones.

R S

EXPERIMENTO BICROMATICO

CONDICION DE DISPARO

TID (mseg)	INDEPEN- DIENTE	ARRIBA	CERO DES- CENDENTE	ABAJO	CERO ASCEN- DENTE
40	81:22 88:17				
47	34:47	50:26	51:27	52:25	48:27
50	50:22 68:16 22:36				
55	40:30 47:23	54:22		52:23	
57	61:18 68:25	38:18	58:12	33:18	72:11
60	9:22 35:31 0:33 6:49 31:16 53:39	47:34		50:34	
62	35:53	68:22	36:19	30:23	27:18
65	28:25				
70	0:22 45:33 0:16	30:10	25:20	37:8	13:22
80	0:22 6:16				
90	0:22				

primera cifra corresponde al porcentaje de simultaneidad  
(respuesta perceptual):  
segunda cifra corresponde al número de presentaciones.

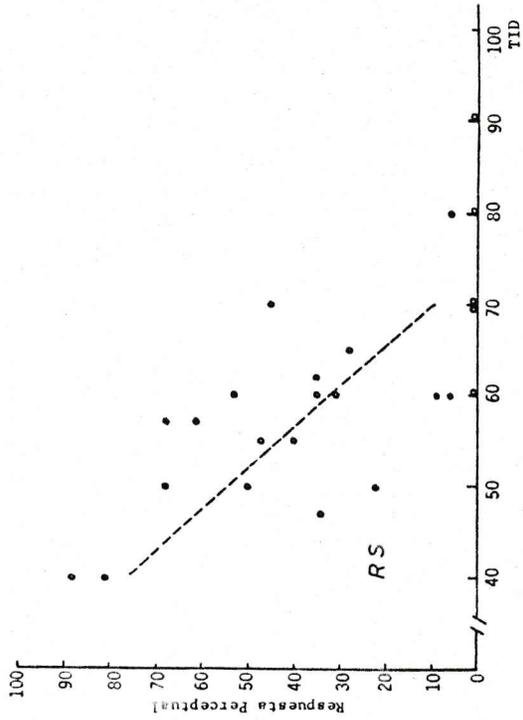
sincronizada y no sincronizada al ritmo alfa, se presentan en la Tabla-3, las curvas sicofísicas control respectivas para la percepción del color de fusión se muestran en la Fig-9.

A diferencia del caso anterior, al aproximar con una recta la fase de caída de la percepción del color de fusión, se puede observar que la dispersión es mucho mayor, ( estas rectas corresponden a las líneas segmentadas en la Fig-9 ), esto se revela con los valores del coeficiente de regresión: 0.63, 0.57 y 0.40 para RS, JG y IC respectivamente, lo que hace evidente la dificultad de esta tarea.

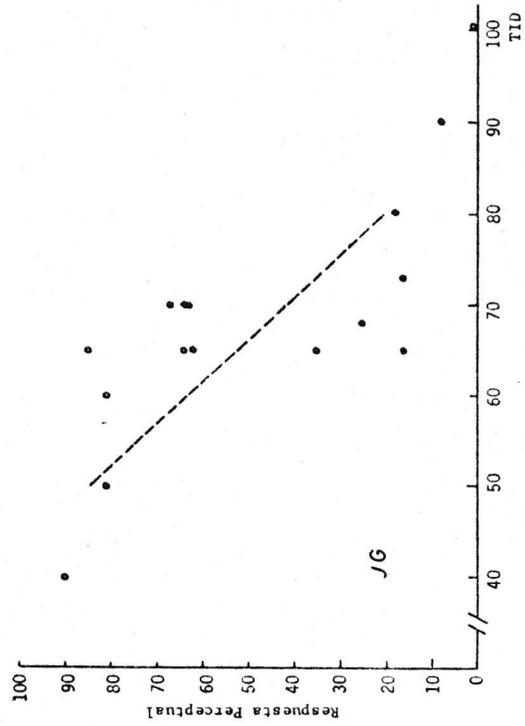
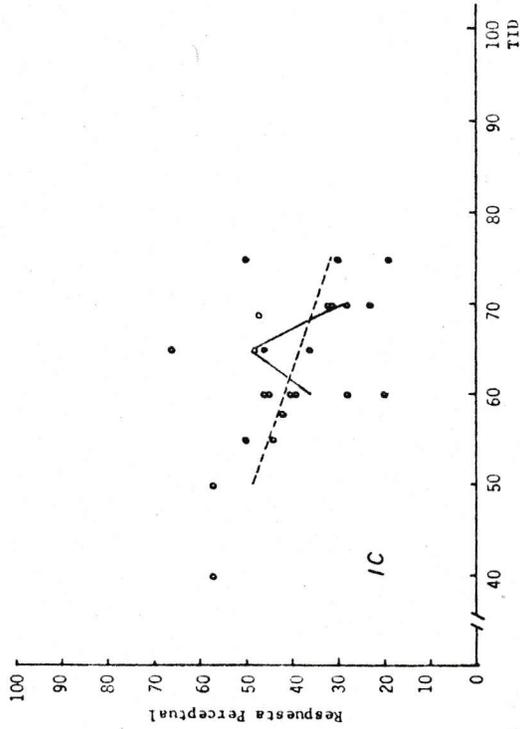
Sin embargo, ciertas características observadas, especialmente en IC y JG, podrían dar una coherencia a nuestros resultados. En varias sesiones con dichas personas se observó que en cierto rango de estímulos, al aumentar el TID la respuesta perceptual también lo hacía ( en el experimento monocromático, al aumentar el TID siempre disminuía la percepción de simultaneidad ).

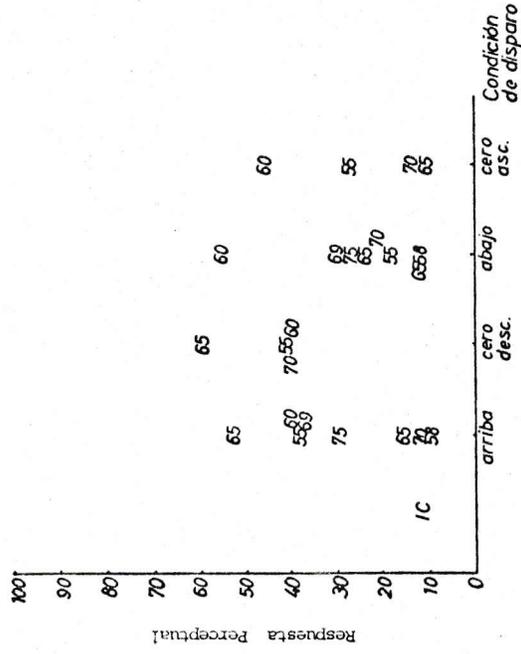
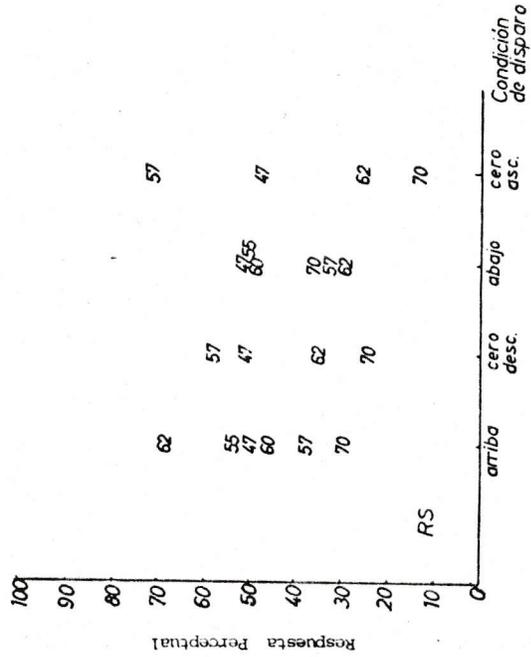
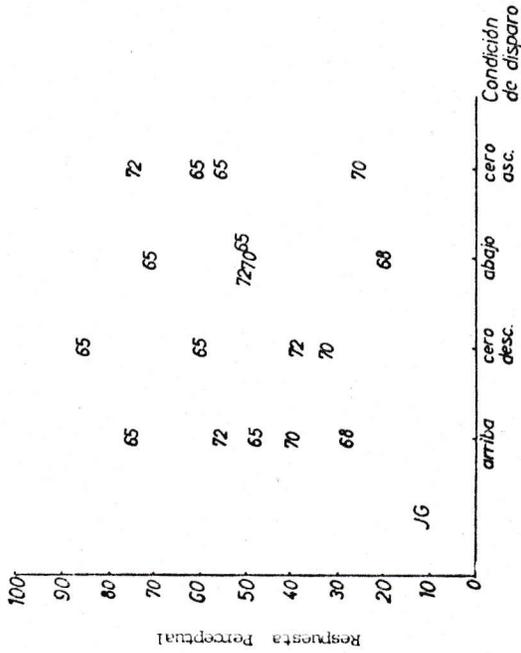
Esta peculiaridad hace sospechar la presencia de un máximo relativo en la curva sicofísica, y es lo que se ha querido mostrar con la curva quebrada en IC ( Fig-9 ), que une los promedios de las respuestas perceptuales.

Los experimentos bicromáticos con sincronización al ritmo alfa se muestran en la Fig-10, se puede observar que no existe una distribución definida de los resultados y, más aún, los distintos estímulos no están ordenados en sentido



**Fig. 9:** Rectas que mejor aproximan los resultados en la zona de caída de la percepción del color de fusión de dos destellos de distinto cromas separados por un tiempo, TID, en las tres personas con quienes se trabajó. Para detalles de las regresiones: ver texto. En el caso de IC, la recta quebrada une los puntos medios para la percepción de estímulos con un TID 60, 65 y 70 mseg.





**Fig. 10:** Percepción del color de fusión de dos destellos de distinto cromatismo separados de un tiempo, TID, en las mismas personas ya señaladas, cuando se disparan los estímulos en fase con el ritmo alfa. Las características de estos gráficos son similares a los de la Figura 7.

vertical, de menor TID a mayor TID, con una mayor respuesta y una menor respuesta perceptual, respectivamente, como es el caso de los estímulos monocromáticos, ver Fig-7.

#### 4. Discusión

Nuestra intención inicial fue estudiar más a fondo y poder describir cabalmente la relación entre la percepción de simultaneidad y el ritmo alfa, con estímulos compuestos de dos destellos monocromáticos separados por un tiempo variable a voluntad. El conocimiento de este fenómeno descrito por Varela et al, permitiría poder comprender de qué manera el ritmo alfa participa en la dinámica nerviosa.

El segundo propósito era estudiar esta relación con un fenómeno distinto, aunque semejante, como es la percepción de un color de fusión de dos destellos bicromáticos temporalmente separados, con el fin de vincular ambos resultados en un modelo común acerca del modo de participación de este ritmo.

##### 4.1 Experimentos monocromáticos

A partir de los experimentos sincronizados y no sincronizados al ritmo alfa, hemos mostrado que las curvas psicofísicas correspondientes a cada condición de disparo, son similares, excepto en que están desplazadas a lo largo de la abscisa, eje que representa la duración del estímulo. La comprensión de este fenómeno debe dar cuenta de la magnitud del desplazamiento, además de ser compatible con la forma de la curva psicofísica y con la existencia de tal desplazamiento, al sincronizar los estímulos con el ritmo alfa.

En la curva psicofísica control podemos distinguir tres

fases: una primera en que, a pesar de aumentar el TID del estímulo, la percepción sigue siendo de simultaneidad; otra que constituye la caída de la percepción de simultaneidad, caída que presenta una forma sigmoidea; y finalmente la etapa de percepción de secuencialidad. La primera etapa en IC y JG se presenta con estímulos de TID menor a 50 mseg., la segunda con TID entre 50 y 100 mseg. y la tercera corresponde en los tres a estímulos de TID mayor que 100 mseg. ( ver Fig-6).

Diversos autores han estudiado el potencial evocado para estímulos compuestos por dos destellos sucesivos, ellos también describen sus resultados de igual manera, ( Donchin et al, 1963; Callaway & Layne, 1964 ). Claramente el potencial evocado para estímulos con un tiempo interdestello de 0 a 40 mseg. es indistinguible del de un destello simple. Con estímulos con más de 100 mseg. los potenciales evocados corresponden a dos simples sin interferencia. Con tiempos de 40 a 100 mseg. los potenciales evocados corresponden a mezclas de simples.

En general experimentos como éstos, que evidencian condiciones límites en la percepción, son estudiados de diversas maneras. Si nos limitamos exclusivamente a aquellas aproximaciones que no son sólo descripciones, sino además presentan una base neural para este fenómeno, se observa que todas se basan en la existencia de una actividad oscilatoria subyacente, cuya presencia da cuenta del fenómeno perceptual.

Se pueden distinguir dos grandes clases de aproximaciones ( ver Varela et al, 1981; Harter, 1967 ). La primera postula la existencia de ciclos de excitabilidad cortical y se basa principalmente en datos fisiológicos en que las actividades eléctricas evocadas ante un estímulo varían de acuerdo al potencial espontáneo del cerebro (Callaway & Layne, 1964; Cigánek, 1964 ). La segunda aproximación ha sido llamada del barrido cortical, esta visión nace exclusivamene del terreno cibernético, ante el problema de la percepción de formas, independientemente de tamaño y orientación (Wiener, 1946).

Ambas aproximaciones, debido a que la condición límite en estos experimentos es de 100 mseg., al igual que en otras experiencias ya señaladas en la introducción, han analogado estos ciclos de excitabilidad con el ritmo alfa, el que presenta un periodo alrededor de este valor (77 mseg-140 mseg).

#### 4.1.1 Ciclos de excitabilidad cortical

Esta aproximación intenta explicar la existencia de las condiciones perceptuales límites ya señaladas, en términos de neuronas o grupos neuronales que presentan ciclos de excitabilidad sincrónicos, que determinan su accesibilidad, por lo que la transmisión de impulsos aferentes a través de ellas es gatillada por el ciclo de excitabilidad, de modo que la frecuencia de impulsos no puede exceder la frecuencia del

ciclo (Lindsley, 1952).

#### 4.1.2 Barrido Cortical

Esta aproximación explica la existencia de esta limitación perceptual temporal sobre la base de que las actividades eléctricas se suman en las distintas subláminas que contiene una lámina cortical, conformándose un promedio de la actividad total, y aquella sublámina que tiene relación con otras láminas ajenas a la propia "libera periódicamente" esta actividad promedio de acuerdo a una onda excitatoria. Este proceso periódico, cuando es medido en términos eléctricos, constituye el ritmo alfa, (Murphree, 1954).

No es nuestra intención discutir cada teoría in extenso, sino más bien, averiguar cómo a partir de estas ideas es posible comprender nuestros resultados.

#### 4.1.3 Resumen

De alguna u otra manera, estas teorías dicen que las oscilaciones, en particular el ritmo alfa, configuran una suerte de estados temporalmente distintos en la corteza cerebral, de forma que cualquier actividad, independientemente de la configuración temporal de estímulos que la evoca, si llega dentro de uno de estos estados, es señalada como una y sólo una sensación perceptual - de simultaneidad -. Recíprocamente, si la actividad cae en dos ciclos distintos, evoca una respuesta de secuencialidad.

Si esto fuera así, la curva que describe la probabilidad de ver simultáneos dos destellos (la curva sicofísica para nuestros estímulos), corresponde a la probabilidad que los dos destellos caigan dentro de un ciclo. Esto queda bien ejemplificado en el problema de la aguja de Buffon.

#### 4.1.3.1 El problema de la aguja de Buffon

Para el caso unidimensional el problema es como sigue: Sea una línea dividida en trazos iguales de longitud  $L$ , y una aguja de longitud  $x$ ,  $x < L$ , ¿Cuál es la probabilidad que la aguja dejada al azar, corte a uno de los trazos?.

Decir que la aguja es dejada al azar, es igual a decir que el extremo izquierdo de la aguja puede ocupar cualquier valor entre 0 y  $L$ , entonces el espacio muestral ( $M$ ) de la prueba es  $(0, L)$ , La región favorable al evento de que la aguja caiga dentro de un trazo sin cortarlo es  $(0, L-x)$ , entonces la probabilidad de estos eventos ( $A$ ) es:

$$P(A) = \#A/\#M = (L-x)/L = 1-x/L$$

Por lo antes dicho, esta probabilidad sería similar a la curva que describe la probabilidad de ver simultáneo dos destellos, y correspondería a una recta con pendiente  $-1/L$  e intercepto 1, además en nuestro caso  $L = 100$  msec. que es el periodo promedio de la onda alfa. Esta recta está dibujada en el gráfico de la Fig-11, las curvas segmentadas corresponden a las curvas sicofísicas control encontradas, se ve claramente

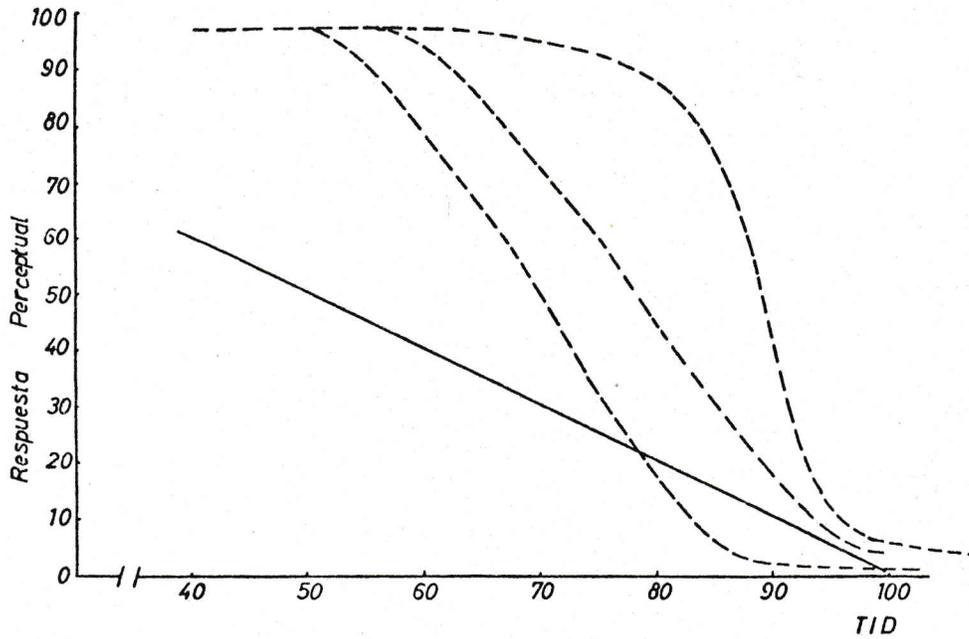


Fig. 11: Comparación entre las curvas sicofísicas control, observadas para la experiencia monocromática (- - -) y lo esperado de acuerdo a la hipótesis de marcos perceptuales fijos (—).

que esta aproximación no da cuenta de nuestros resultados.

Es importante señalar que esta aproximación es válida con experimentos de simultaneidad usando dos estímulos de sensorialidad distinta (Shmidt & Kristofferson, 1963). Estos autores estimulan con un destello seguido de un sonido y piden responder si son percibidos secuenciales o no. Ellos encuentran que la curva sicofísica que describe tal percepción es una recta que alcanza un 100% de secuencialidad cuando los estímulos están separados por 65 msec. y hay un 0% de secuencialidad cuando este tiempo es de 6.9 msec.

#### 4.2 Nuestra interpretación

Si insistimos en la visión que el ritmo alfa constituye una actividad a la cual subyacen momentos temporales discretos, para evitar el problema anteriormente señalado a través de la aguja de Buffon, quizá deberíamos no establecer el límite entre momento y momento temporal en forma precisa. Podríamos pensar que dicho límite puede variar su tiempo de establecimiento, teniendo entonces una distribución de probabilidad a lo largo del tiempo; bajo estas suposiciones, es posible explicar la curva sicofísica con una distribución de aparición del límite dada por una Gaussiana centrada en un tiempo óptimo cada 100 msec.

Pero, no importando que mecanismo tengamos, al considerar el ritmo alfa como un patrón absoluto que define la temporalidad, surge un segundo problema. Si éste fuera el

caso, el hecho de presentar estímulos con un desfase de medio periodo (por ejemplo extremo superior e inferior) implica que las curvas sicofísicas en cada condición de disparo también deberían estar desplazadas en medio periodo de onda (50 msec). Esto no es así e incluso es posible identificar nuestros resultados con desplazamientos de solo 3 msec. ( caso de RS ).

Esta razón nos impulsa a no considerar el ritmo alfa como el mecanismo clave capaz de definir un marco temporal, si bien participa en él, como lo muestran los experimentos presentados aquí.

Previo a la presentación de nuestra interpretación haremos algunas consideraciones que es necesario detallar.

#### 4.2.1 Relaciones de actividad vs. Estructura.

La organización del sistema nervioso corresponde a una red cerrada de elementos neuronales interactuantes. Dichas interacciones ocurren de tal forma, que cambios en las relaciones de actividad de algunos elementos de la red desencadenan cambios en las relaciones de actividad entre otros elementos de la red. Las superficies sensoriales y efectoras no escapan de la estructura del sistema nervioso y de esta dinámica, por lo que un cambio en las relaciones de actividad en una superficie sensorial, gatillado por un estímulo, puede desencadenar un cambio en la superficie efectora (Maturana & Varela, 1972 ). Estos cambios son vistos

por el observador, que puede ser el mismo, como una conducta lingüística o motora; por ejemplo, en nuestro caso, esto corresponde a una vocalización " veo simultáneo " o corresponde a una conducta de apretar el interruptor de respuesta.

Un sistema con cierta organización puede ser materializado de muy diversas formas, cada una de las cuales constituye una estructura, es decir el modo particular con que dicho sistema se da.

A nivel del sistema nervioso esta distinción entre organización y estructura aclara muchas situaciones, por ejemplo permite explicar por qué una misma percepción puede ser desencadenada con diversos estímulos. Sin embargo, para nuestros propósitos, tal distinción principalmente ayuda a definir la explicación de un fenómeno, ya que ella nos permite poder situar cualquier explicación, y en particular aquella de la participación del ritmo alfa, en dos distintos dominios: por un lado el dominio de relaciones de actividad y por otro el netamente estructural.

En el primero es necesario conocer la organización del sistema nervioso, cuestión ya presentada; en el otro es necesario conocer la estructura de las láminas involucradas en el fenómeno, - dicho conocimiento es aún motivo de estudio, por lo que nosotros podremos sólo insinuar algunas ideas al respecto.

#### 4.2.2 Dominio de relaciones de actividad

En forma general nos interesan dos tipos de relaciones de actividad, aquella que desencadena la conducta de simultaneidad y la que desencadena la de secuencialidad. Son de índole tan general, que es posible que las cualidades que la definen puedan presentarse en diversas otras relaciones de actividad, estableciéndose, más bien, clases de relaciones de actividad que tienen un atributo común: que disparan una de las dos conductas señaladas.

Si esto es así, nosotros podemos pensar que, dado un estímulo particular, el sistema desencadena una de estas relaciones de actividad y la conducta que generará será aquella correspondiente a la clase a la cual pertenece dicha actividad.

Debido a que desconocemos las características del estado del sistema en el momento de la presentación del estímulo observaremos una indeterminación del estado desencadenado. De cualquier forma, ya que una misma relación de actividad puede ser desencadenada a partir de diversos estados del sistema nervioso, habrá algunas relaciones de actividad más probables de ser estructuradas que otras. Esto señala que hay un rango de relaciones de actividad posibles de ser desencadenadas, y cada una de las actividades que constituyen dicho rango tendrán una probabilidad particular de presentarse ante el estímulo. Esto es como si cada estímulo tuviera asociado una

cierta distribución de probabilidad de relaciones de actividad.

Nosotros podemos explicar nuestros datos si dicha función de probabilidad corresponde a una distribución normal o Gaussiana, asumiendo además que estímulos muy semejantes tienen distribuciones también muy semejantes.

Se esquematiza esto en la Fig-12: todas las relaciones de actividad posibles se presentan ordenadas en la recta; sabemos que hay dos clases de ellas: una que dispara conductas de simultaneidad y otra de secuencialidad. Cada estímulo tiene asociado una distribución de probabilidad, pero como nosotros sólo observamos una de las dos conductas mencionadas, un estímulo -por ejemplo TID2- aunque pueda desencadenar un cierto rango de relaciones posibles, lo observaremos como desencadenando una conducta 100% de simultaneidad, porque todas las relaciones más probables pertenecen a esta clase.

Nos es posible, entonces, explicar la primera y última fase de nuestras curvas. Los TID1 y TID2, por ejemplo, corresponden a estímulos con un 100% de simultaneidad; los TID5 y TID6 corresponden a estímulos con un 0% de simultaneidad.

Los estímulos intermedios tendrán una respuesta perceptual igual a la suma de probabilidad de desencadenar un estado que corresponde a la clase de simultaneidad, esto corresponde al área bajo la curva de distribución a la

izquierda del límite entre las dos percepciones ( área achurada en Fig-12 ).

Conociendo para cada estímulo dicha área, nos será posible construir la curva sicofísica hipotética. Claramente esta curva corresponde a la llamada curva acumulada de una distribución normal, curva que es una sigmoidea similar a la por nosotros encontrada.

Dependiendo de la varianza de las curvas de distribución normal, que a su vez es función de la varibilidad del sistema, será la forma de tal función sigmoidea; si la varianza es pequeña, más brusca será la caída de una percepción de simultaneidad, con lo que se explican los resultados en RS.

Al sincronizar la presentación con el ritmo alfa se pone en evidencia otra característica de estas distribuciones de probabilidad, y es que ellas son contribución de una multitud de otras distribuciones centradas en distintas relaciones de actividad, cada una de ellas correspondiendo a un estado del sistema, definido por la fase del ritmo alfa; por lo que al disparar en sincronía con él, la distribución se desglosa en dos componentes de acuerdo con las fases de disparo de los estímulos. Esto se muestra en la Fig-13, en ella, la curva punteada corresponde a la curva anterior del experimento control, la curva llena corresponde al caso en que es sincronizada la presentación - por ejemplo, con el valle de una oscilación- y la curva segmentada pertenece a la condición

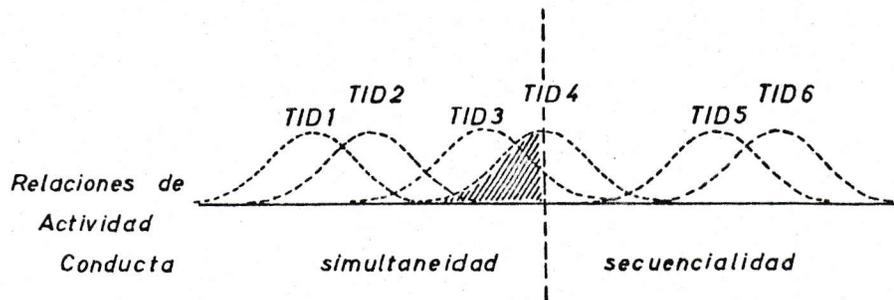


Fig. 12: Esquema de la explicación de la curva sicofísica control en el dominio de las relaciones de actividad. La probabilidad que un cierto estado de actividad se desencadene ante un estímulo dado (TID1, TID2, etc.) está señalado por la curva de probabilidad correspondiente. De aquí que la probabilidad de ver simultáneo tal estímulo estaría dada por el área bajo la curva a la izquierda del límite entre las dos percepciones (área achurada).

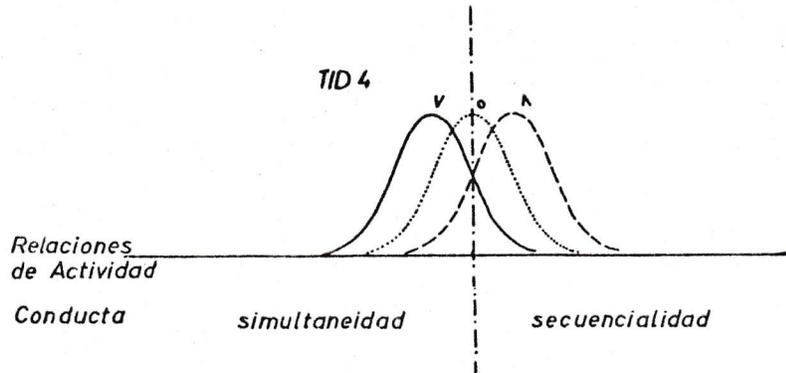


Fig. 13: Esquema de la explicación de las curvas sicofísicas para las distintas condiciones de disparo, en el dominio de las relaciones de actividad. La curva de probabilidad para un estímulo no sincronizado al ritmo alfa (o) sería consecuencia de la integración de distintas funciones de probabilidad correspondientes a distintos estados del sistema que se evidencian al presentar los estímulos en determinadas fases del ritmo alfa ( $\wedge$  y  $\vee$ ).

opuesta, es decir en la cresta de una oscilación.

Si nosotros disparamos distintos estímulos en el valle de una oscilación - por ejemplo -, las distribuciones de probabilidad para cada uno de ellos estarán desplazadas hacia la izquierda con respecto a la distribución control, aumentando el área bajo la curva, es decir, aumentando la respuesta de simultaneidad; esto nos explica el desplazamiento hacia la derecha de la curva psicofísica correspondiente ( Fig-14 ).

Lo anterior nos aclara por qué un mismo estímulo desencadena distinta respuesta perceptual dependiendo de la condición de disparo; por ejemplo, para un TID-50 (70 msec.) en IC, la respuesta perceptual cambia a un 65% si es sincronizada en el valle y a un 35% si lo es en la cresta de una oscilación, ( Fig-6 ). Estos porcentajes son los que corresponden a las áreas bajo la curva a la izquierda del límite perceptual de la Fig-13.

De igual manera, nos explica por qué una respuesta perceptual dada puede ser desencadenada por diversos estímulos, dependiendo del momento de disparo; por ejemplo, es posible obtener en IC una respuesta de un 40% de simultaneidad (ver Fig-6), con estímulos de TID 73 msec. disparados asincrónicamente con el ritmo alfa, o con TID 78 msec. disparados en el extremo inferior de una oscilación o, por último, con estímulos de TID 69 msec. disparados en el extremo

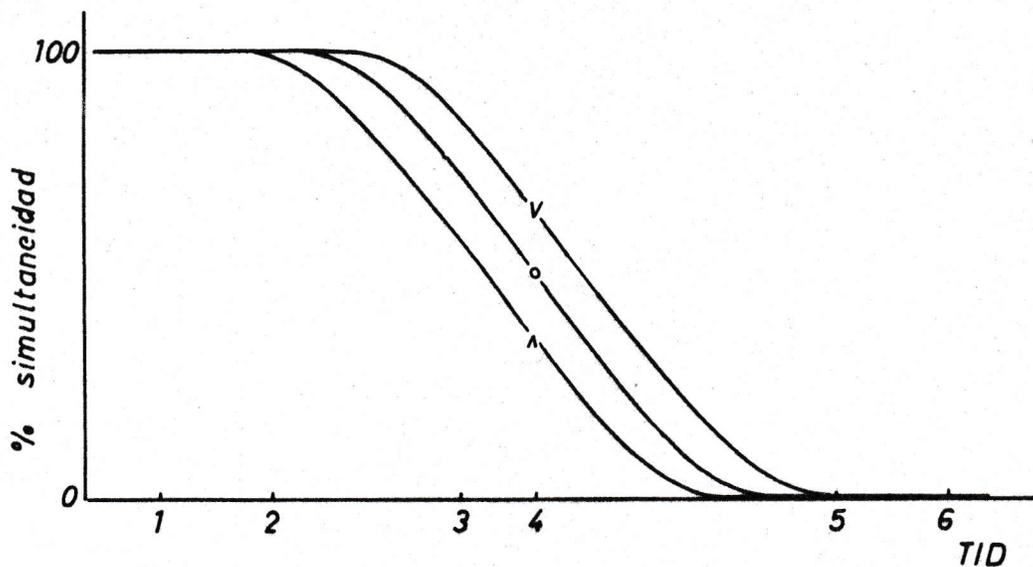


Fig. 14 Construcción de las curvas sicofísicas de acuerdo a las hipótesis presentadas aquí. La forma sigmoidea en las curvas esta dada por la variación en el área relevante para la percepción de simultaneidad (área achurada en la figura previa) para los distintos TID. El desplazamiento es explicado porque al descomponer la distribución control en curvas asociadas a las distintas condiciones de disparo (figura anterior) cambia la probabilidad de percibir simultaneo un mismo estímulo.

superior de una oscilación. Con estos tres estímulos, bajo cada condición, obtenemos igual respuesta perceptual, es decir los tres están asociados a una única distribución de probabilidad (vemos que tal distribución no es particular para un estímulo dado, sino que depende también del estado del sistema en el momento de la presentación).

#### 4.2.3. Dominio estructural, bases neurales

La actividad electroencefalográfica actualmente es considerada como consecuencia de la actividad eléctrica de las células superficiales de la corteza cerebral, ( Eccles, 1951 ).

Al tener el soma y las dendritas distintas constantes de espacio y tiempo, la invasión de un potencial eléctrico en algún punto de la neurona no se distribuye uniformemente en toda ella, produciéndose verdaderos dipolos variables a medida que el potencial invade el soma o el árbol dendrítico, a la vez que ocurre la repolarización. Estos dipolos afectan el potencial superficial que el electrodo registra ( ver Creutzfeld et al, 1966 a, b ), por ejemplo un potencial excitador en el soma (EPSP), es registrado como una positividad en la superficie, a la vez que la invasión despolarizante en el árbol dendrítico junto con la repolarización del soma es registrado como una progresiva negatividad. Lo inverso es visto cuando es un potencial inhibitorio - hiperpolarizante, (IPSP) - el que invade el

soma. Así como es posible explicar los potenciales superficiales bifásicos, también es posible hacerlo con los monofásicos, suponiendo que dichos potenciales invaden directamente el árbol dendrítico.

La actividad total de estos distintos tipos de potenciales sobre diversos lugares del arreglo vertical de piramidales, daría cuenta de la actividad eléctrica encefalográfica.

Las amplias actividades eléctricas que es posible observar en los momentos denominados de sincronización en el registro encefalográfico, serían consecuencia de la actividad excitatoria e inhibitoria de grupos celulares en forma concertada.

Se ha postulado que el ritmo alfa es reflejo de una actividad celular sincronizada por descargas fásicas tálamo-corticales, consecuencia de procesos de inhibición recurrente dentro de los núcleos talámicos ( Andersen & Eccles, 1962; Andersen & Sears, 1964; Steriade & Hobson, 1976, pag 226 ).

Por otra parte, los componentes del potencial evocado visual corresponden a oscilaciones típicamente alfa ( Brazier, 1962; Barlow, 1966; Regan, 1972 ). Esto podría indicar que la actividad desencadenada por un estímulo visual participa también de la estructura neural subyacente al ritmo alfa propiamente tal. Es así, por ejemplo, que el ritmo alfa puede ser modificado en su fase por estimulación de la radiación

óptica ( Bishop, 1957).

Esta doble modulación de la actividad cortical, por un lado proveniente de aferencias talámicas, y en especial de núcleos no específicos, y por otro de la aferencia sensorial, es un hecho fundamental en esta discusión.

Podemos interpretar nuestros resultados en un campo estructural, diciendo que un estímulo visual establece un marco temporal en principio independiente del ritmo alfa, pero apoyado en una estructura ya sea similar o idéntica, en la que también dicho ritmo se estructura.

Si el límite de este marco temporal presenta una probabilidad de establecerse en algún tiempo, y dicha probabilidad corresponde a una distribución normal o Gaussiana, podemos interpretar nuestros datos por la argumentación antes presentada.

En la Fig-15, se esquematiza esta argumentación: Las barras constituyen los límites temporales que desencadenan el primer destello de nuestros estímulos, la curva normal es la probabilidad de que el segundo límite se establezca un cierto tiempo después del primero, la flecha constituye la actividad desencadenada por el segundo destello.

El percibir simultáneos un par de destellos significa que el límite se establece un tiempo después de la actividad correspondiente al segundo destello, es decir, a la derecha de la flecha en la figura; la probabilidad de percibir simultáneo

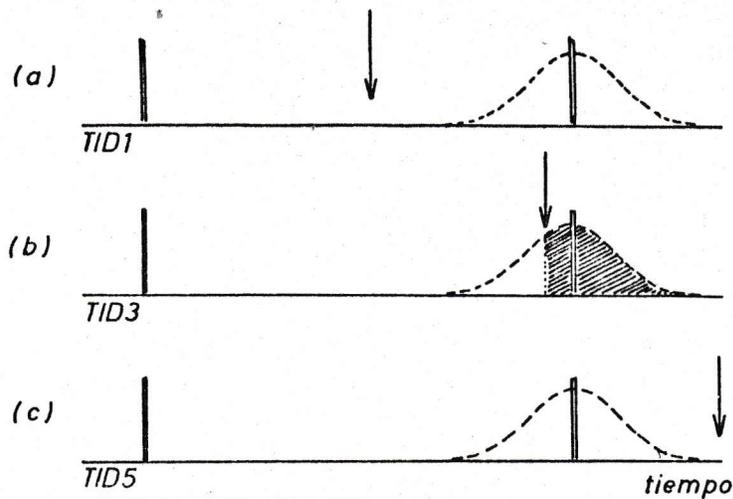


Fig. 15: Esquema de la explicación de la curva sicofísica control en el dominio estructural. La curva normal indica la probabilidad que el límite temporal se produzca, la flecha indica el momento del segundo destello del estímulo; de aquí que la probabilidad de percibirlo simultáneo corresponde a la situación en que el límite se estructura posteriormente al segundo destello (área achurada).

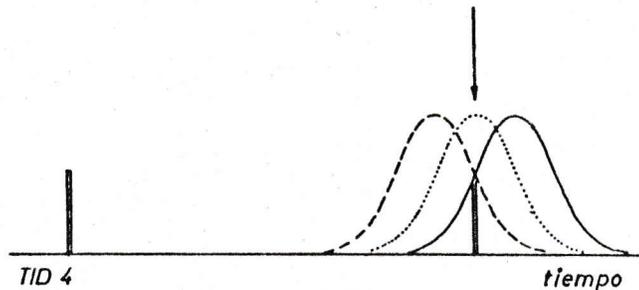


Fig. 16: Esquema de la explicación en el dominio estructural de las curvas sicofísicas para las distintas condiciones de disparo. La distribución control correspondería a una integración de diversas otras distribuciones correspondientes a distintos estados del sistema, centradas en tiempos distintos a la distribución control. Estas distribuciones componentes se pondrían en evidencia al disparar los estímulos en determinados estados del sistema indicados por el ritmo alfa (comparar con Figura 13).

un par de destellos es, entonces, igual al área bajo la curva a la derecha de la flecha (área achurada en b, Fig-15).

El caso (a) constituye un ejemplo de un estímulo en la primera fase de la curva sicofísica (con 100% de simultaneidad), el caso (b) ejemplifica un estímulo con una probabilidad intermedia, en la segunda fase de la curva (en la caída de la percepción de simultaneidad), el caso (c) muestra un estímulo en la última fase de nuestra curva sicofísica (con un 0% de simultaneidad). Al igual que en el caso anterior, la curva sicofísica corresponderá a la llamada curva acumulada de una distribución normal, que es una curva sigmoidea similar a las encontradas.

Nuestros resultados con sincronización indican que el establecimiento de este marco temporal no es tan independiente del ritmo alfa, y podrían ser explicados suponiendo que la distribución de probabilidad para ellos es consecuencia de la contribución de diversas otras distribuciones centradas a distintos tiempos después del primer límite temporal, y cada una corresponderá a un estado neuronal particular. Por ejemplo en la Fig-16, se esquematizan tales distribuciones para el caso de una presentación en el máximo y el mínimo de una oscilación alfa, comparada con la correspondiente al caso desincronizado con este ritmo, la cual es resultante de las distintas distribuciones componentes.

Con este mecanismo podemos explicar el desplazamiento de

las curvas sicofísicas en el caso sincronizado, ya que -por ejemplo-, al sincronizar con el valle de una oscilación, la probabilidad de que el límite temporal se establezca a un tiempo mayor aumenta, se desplaza la distribución de probabilidad a la derecha de la distribución normal, es llevado a la curva sicofísica correspondiente, indica que ella se desplaza hacia la derecha de la curva sicofísica control, ver Fig-14.

Tanto en la discusión en un dominio estructural como en el otro de relaciones de actividad, se utiliza el argumento de la indeterminación del estado del sistema en el momento de la presentación. Este es un hecho inescapable, desde el momento que ya el sistema de registro introduce un retardo en la señal, todo nuestro análisis de cotas de disparo sólo establece una probabilidad de que el estado en que se presenta el estímulo sea el requerido.

Lo importante de esta explicación en el dominio estructural, es que no sólo da cuenta, por un mecanismo de generalización, de la explicación en el dominio de relaciones de actividad, sino además, permite explicar otras cosas. Por ejemplo, el hecho que estos experimentos sicofísicos que evidencian una limitación perceptual temporal, presentan valores de este límite de alrededor 100 msec, igual al período medio del ritmo alfa. Esta relación no es explicada por un mecanismo en el dominio de relaciones de actividad, quedando

sólo como una coincidencia, pero sí lo es en el estructural, fundamentándose en que la red neuronal en la cual se estructuran tanto el marco temporal como el ritmo alfa es la misma o similar. Como la frecuencia de oscilación esta dada por la estructura, tanto el fenómeno psicofísico como el ritmo alfa tendrán parámetros temporales similares.

Nuestra interpretación es compatible con otros fenómenos afines, como son los estudios con trenes de destellos, en que la cuenta de un cierto número de destellos no está directamente relacionada con el número real de ellos (Harter & White, 1967; Cheatham & White, 1952; Forsyth & Chapanis, 1958). Estos autores coinciden en observar que con frecuencias de destello altas, en que se hace casi imposible contarlos, la cuenta es tal como si se agruparan los destellos cada 100 mseg. de estimulación.

Cuando repetimos tales experimentos bajo nuestras condiciones de estimulación, fue necesario utilizar tiempos interdestellos similares a TID-50. En este caso se observó que la cantidad de titilaciones vistas con trenes de 3 a 14 destellos, aunque muy difícil de contar, fue menor al número de destellos presentados, lo que es cualitativamente similar a los resultados de dichos autores.

Si un destello dispara un proceso que influencia la respuesta perceptual de cualquier destello sucesivo, y la estructuración de dicho proceso depende de la fase del ritmo

alfa como nuestra explicación sugiere, al tener el tren una frecuencia fija, cada destello caerá en distintas fases del ritmo alfa, por lo que el proceso que define el marco perceptual temporal se deformará temporalmente de acuerdo con este ritmo, y el tren será observado tal como si los destellos se agruparan con la ritmicidad de este ciclo.

#### 4.3 Experimentos bicromáticos

Esta experiencia fue proyectada en busca de una mayor claridad en el problema de la relevancia del ritmo alfa en la percepción y, principalmente, para enfocar el problema a un nivel más estructural. Se puede fundamentar una aproximación a un nivel más estructural en el hecho que las distintas láminas corticales proyectan a lugares diferentes del cerebro y en la idea sugerida por Verseano que el ritmo alfa barre desde la profundidad a la superficie la corteza, ( ver Varela et al, 1981 ).

Entonces el efecto que tendría el ritmo alfa sobre las distintas láminas debería estar retardada de acuerdo con las distintas fases del ritmo alfa que presenta cada lámina.

Si son utilizados dos tipos de estimulación y se sincronizan los estímulos con la fase más superficial del ritmo alfa, se puede predecir que la respuesta psicofísica para una estimulación sincronizada con este ritmo debe estar desfasada, y esta diferencia en fase debe ser proporcional a la distancia entre las láminas.

Como segundo tipo de estimulación se eligió la percepción de un color de fusión a medida que se acercan temporalmente dos destellos de distinto croma.

Se procedió a presentar este tipo de estímulos, sincronizadamente o no con el ritmo alfa, para poder comparar estas respuestas con la experiencia monocromática anterior. La manifestación de una mucho mayor dificultad de esta tarea ha enmascarado nuestros datos, impidiendo cualquier comparación.

La posible presencia de un fenómeno adicional, visualizado como un máximo relativo en la fase de caída en la percepción de un color de fusión, Fig-9 en IC, podría ser comprendido basándose en diferencias de velocidades de conducción. Es conocido el hecho que la velocidad de conducción de la actividad correspondiente a distintos colores no es igual (Cigánek & Ingvar, 1969). Estos autores estudiaron el potencial evocado con destellos de distintos colores e intensidades; con intensidades bajas observaron que la cinética temporal del potencial evocado es distinta para cada croma, viendo que la actividad correspondiente al verde se observa a nivel cortical con mayor rapidez que la correspondiente al rojo. Esto explica por qué se obtiene un color de fusión óptimo con el par rojo-verde y no al revés; es necesario presentar el rojo primero para que las actividades disparadas se presenten óptimamente a nivel cortical. De acuerdo a la Fig-17, de estos autores, el retardo

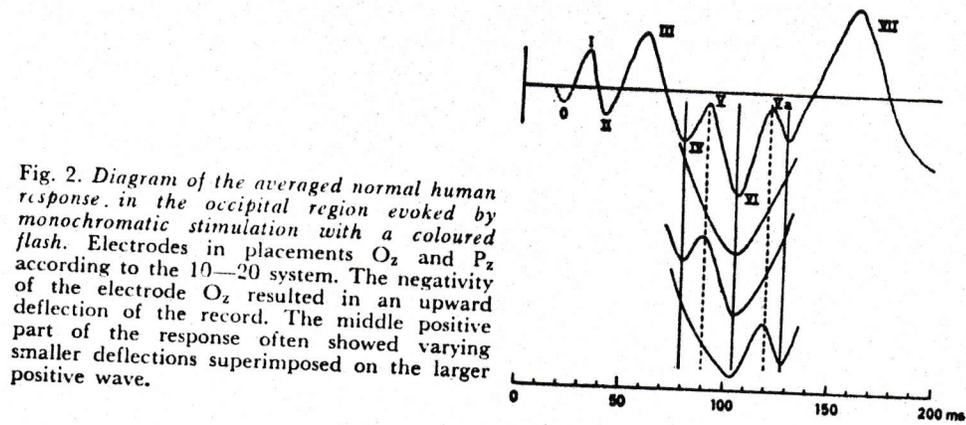


Fig. 2. Diagram of the averaged normal human response in the occipital region evoked by monochromatic stimulation with a coloured flash. Electrodes in placements  $O_2$  and  $P_2$  according to the 10—20 system. The negativity of the electrode  $O_2$  resulted in an upward deflection of the record. The middle positive part of the response often showed varying smaller deflections superimposed on the larger positive wave.

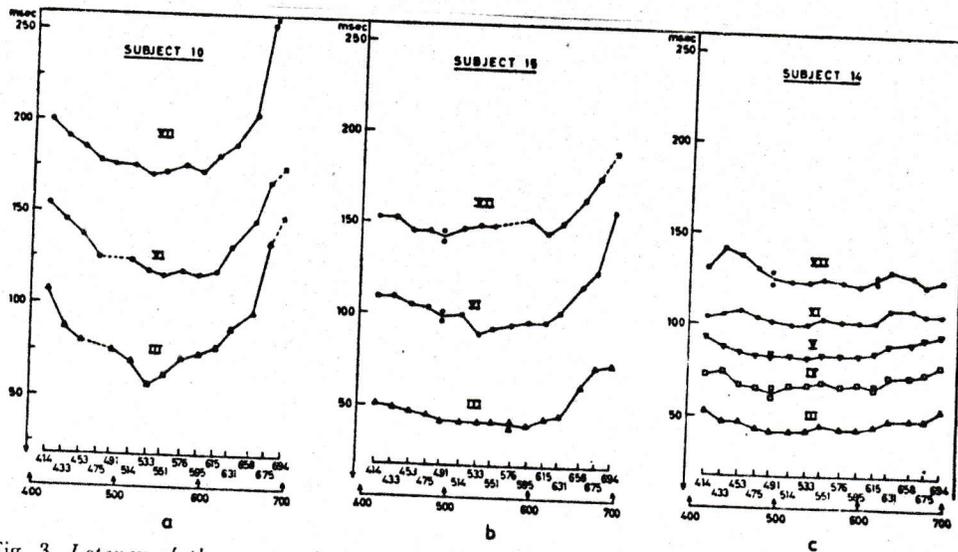


Fig. 3. Latency of the averaged visual cortical response to monochromatic flashes, related to wavelength of the stimulus. Three different subjects; three different stimulus intensity levels. Roman numerals indicate response components measured (Fig. 2). In some cases the latency was measured from two different averaged responses and their mean was used in the curve. Dashed lines indicate lack of clear-cut response component. Dashed lines with arrows at the right end of some curves denote probable trend of the curve in cases where the response at 694  $m\mu$  was small and difficult to measure. Note that the longest latencies were found at the lowest intensity level (Subject 10; a), the shortest—and colour insensitive—latencies were found at the highest intensity level (Subject 14; c). Subject 15 (b) represents an intermediate type at an intermediate intensity level.

**Fig. 17:** De Ciganek & Ingvar (1969). La figura superior indica los diferentes componentes del potencial evocado por estímulos visuales en la región occipital.

La figura inferior indica el retardo de estos componentes para distintas longitudes de onda, a tres intensidades distintas, estando la menor a la izquierda.

retino-cortical del verde respecto al rojo, es de 60 a 70 msec, exactamente el orden encontrado para nuestro segundo máximo en el caso de IC. Es por eso que decimos que estaría involucrada la distinta velocidad de conducción en el llamado fenómeno adicional, una explicación similar presentaron Walraven & Leebeek (1964) para explicar el retardo necesario para percibir ningún cambio de luminosidad de dos estímulos sinusoidales cromáticos sobrepuestos.

En un comienzo se pensó que el fenómeno de fusión temporal cromático sería similar al fenómeno de simultaneidad. Nuestros resultados muestran que no es así, y se ha evidenciado un fenómeno nuevo en que la cromaticidad de los destellos participa activamente en la fusión de color. Será necesario conocer en más detalle las curvas psicofísicas para distintos pares de cromas, para intentar explicar este fenómeno, por ejemplo, tal como lo hemos insinuado, a partir de distintas velocidades de conducción.

Sin embargo, la intención inicial de estos experimentos no ha sido plenamente satisfecha; habría que buscar la posible influencia del barrido del ritmo alfa desde la profundidad a la superficie con otros tipos de estimulación. Una posibilidad es una estimulación con percepción de estereoscopia, es decir, que en un ojo se presente una de las figuras de un par estereoscópico y en el otro la segunda, separados por un cierto tiempo, y se le pida responder a la percepción de

profundidad o tridimensionalidad. Como la cualidad cromática no está involucrada tal vez la situación sea más simple y puedan ser comparados estos resultados con los ya encontrados, en vista de observar alguna posible influencia del barrido del ritmo alfa sobre la actividad laminar.

#### 4.4 Palabras finales

Se ha presentado evidencia que refuta la hipótesis simple que el ritmo alfa define por sí solo un marco temporal visual. Nosotros hemos explicado nuestros resultados a partir de un nuevo modelo.

La suposición central es que un estímulo visual desencadena una actividad que define un marco temporal, de forma que cualquier actividad disparada por un estímulo visual dentro de tal marco será percibido como simultáneo.

La influencia observada del ritmo alfa sobre este fenómeno, es a través de que compartieran una misma o similar estructura neuronal, es decir, la matriz estructural en el cual el ritmo alfa se da sería común con la estructura en la cual se gatilla un marco temporal. Esto explica la influencia observada por nosotros en el fenómeno temporal visual, ya que el marco temporal que se dispara con un destello dependerá del estado de actividad de esta red neuronal subyacente y este estará modulado por el ritmo alfa, porque tanto uno como otro se dan en la misma red.

Esta visión abre nuevas perspectivas de estudios, por ejemplo la referente a si las distintas láminas involucradas en fenómenos temporales con modos sensoriales distintos, establecen marcos temporales en forma independiente; en esta perspectiva se inserta el problema del efecto del ritmo alfa sobre las distintas láminas corticales, que ya se ha descrito y propuesto anteriormente con respecto a los experimentos bicromáticos.

Otro campo posible tiene relación con la matriz estructural que subyace a los fenómenos de marco temporal y ritmo alfa, en este sentido, es posible entender el hecho que todas las personas con las cuales encontramos relación entre ritmo alfa y marco temporal pertenecían al grupo R. Para explicar esta relación hemos supuesto que los dos fenómenos se conjugan en una misma red neuronal, lo que está de acuerdo con la capacidad de los estímulos visuales de modificar la amplitud del ritmo alfa característico de este patrón.

Esto nos induce a pensar en un experimento importante para apoyar nuestra tesis en referencia con las personas con un patrón P, es decir ritmo alfa persistente; en ellas nosotros pensaríamos que al no tener gran influencia el estímulo visual sobre el ritmo alfa, la actividad generadora del marco temporal y el ritmo alfa no estarían compartiendo una misma red neuronal, lo que está de acuerdo con el hecho que en la persona con este patrón con quien se trabajó, no se

encontró relación entre ambos fenómenos ( datos no presentados ). Sería muy importante ver si en ellas se observa el fenómeno de numeralidad, o sea, que el número de destellos contados no es igual al número de destellos presentados. Si los dos mecanismos neurales están separados, y son por lo tanto independientes, se podría pensar que no se presentaría tal fenómeno.

## 5. Referencias

Andersen, P. & Eccles, J. C. (1962), Inhibitory phasing of neuronal discharge, *Nature* **196**:645.

Andersen, P. & Sears, T. A. (1964), The role of inhibition in the phasing of spontaneous thalamo-cortical discharge, *J. Physiol.* **173**:459.

Barlow, J. (1960), Rhythmic activity induced by photic stimulation in relation to intrinsic alpha activity of the brain in man, *EEG Clin. Neurophysiol.* **12**:317.

Brazier, M. A. (1962), The analysis of brain waves, *Scient. Amer.* June.

Bishop, G. H. (1957), The dendrite: Receptive pole of the neurone, en A symposium on dendrites, *EEG Clin. Neurophysiol.* **9**:supp 10.

Callaway, E. & Layne, R. S. (1964), Interaction between the visual evoked response and two spontaneous biological rhythms, the EEG alpha cycle and the cardiac arousal cycle, *Ann. N. Y. Acad. Sci.* **112**:421.

Cigánok, L. (1964), Excitability cycle of the visual cortex in man, *Ann. N. Y. Acad. Sci.* **112**:241.

Cigánok, L. & Ingvar, D. (1969), Colour specific feature of visual cortical responses in man evoked by monochromatic flashes, *Acta physiol. Scand.* **76**:82.

Creutzfeldt, O. D. Watanave, S. Lux, H. D. (1966) a, Relations between EEG phenomena and potentials of single cortical cells. I.- Evoked responses after thalamic and epicortical stimulation, *EEG Clin. Neurophysiol.* **20**:1.

Creutzfeldt, O. D. Watanave, S. Lux, H. D. (1966) b, Relations between EEG phenomena and potentials of single cortical cells. II.- Spontaneous and convulsoid activity *EEG Clin. Neurophysiol.* **20**:19.

Chestham, P. C. White, C. T. (1952), Temporal numerosity: I. Perceived number as a function of flash number and rate, *J. Exp. Psychol.* **44**:447.

Childers, D. G. & Perry, N. W. (1971), Alpha like activity in vision, *Brain Res.* **25**:1

- Donchin, E. & Lindsley, D. B. (1965), Retroactive brightness enhancement with brief paired flashes of light, **Vision Res.** **5:59.**
- Donchin, E. Wicke, J. D. & Lindsley, D. B. (1968), Cortical evoked potentials and perception of paired flashes, **Science** **141:1285.**
- Eccles, J. C. (1951), Interpretation of action potentials evoked in the cerebral cortex, **EEG Clin. Neurophysiol.** **3:449.**
- Forsyth, D. M. & Chapanis, A. (1958), Counting repeated light flashes as a function of their number, their rate of presentation, and retinal location stimulated, **J. Exp. Psychol.** **56:395.**
- Grass, A. Gibbs, F.A. & Gibbs, B. S. (1958), A fourier transform of the electroencephalogram, **J. Neurophysiol.** **1:521.**
- Harter, M. R. (1967), Excitability cycle and cortical scanning: a review of two hypothesis of central intermittency in perception, **Psychol. Bull.** **68:47.**
- Harter, M. R. & White, C. T. (1967), Perceived Number and evoked cortical potential, **Science** **156:406.**
- Hirsh, I. J. & Sherrick, C. E. (1961), Perceived order in different sense modalities, **J. Exp. Psychol.** **62:423.**
- Komisaruk, B. (1977), The role of rhythmical brain activity in sensorimotor integration, **Prog. Psychobiol.** **78:55.**
- Lindsley, D. B. (1952), Psychological phenomena and the electroencephalogram, **EEG Clin. Neurophysiol.** **4:443.**
- Naturana, H. R. & Varela, F. (1972), *De máquinas y seres vivos*, Ed. Universitaria. Santiago Chile.
- Murphree, O. (1954), Maximum rates of form perception and the alpha rhythm: an investigation and test of current nerve net theory, **J. Exp. Psychol.** **48:57.**
- Pearson, K. G. & Fournier, G. R. (1975), Nonspiking interneurons in walking system of the cockroach, **J. Neurophysiol.** **38:33.**
- Reagan, D. (1972), *Evoked Potentials*, Chapman and Hall Ltd.
- Schmidt, H. & Kristofferson, A. (1963), Discrimination of

successiveness. A test of a model of attention, **Science** **139:112**.

Steriade, M. & Hobson, J. A. (1976), Neuronal activity during the sleep-waking cycle, **Progress Neurobiology** **6:** pag. 226 y 227.

Thomas, F. Dimmick, F. & Luria, S. (1961), A study of binocular color mixture, **Vision Res.** **1:108**

Varela, F. (1979), Principles of Biological Autonomy, North Holland, New York.

Varela, F. Toro, A. John, E. & Schwartz, E. (1981), Perceptual framing and cortical alpha rhythm, **Neuropsychol.** **19:675**.

Walraven, P. L. & Leebeck, H. J. (1964), Phase shift of sinusoidally alternating colored stimuli, **J. Op. Soc. Americ.** **54:78**.

Walter, W. G. (1961), El cerebro viviente, 1 Ed. española, Fondo de Cultura Económica, Mexico.

Westheimer, G. & McKee, S. (1977), Perception of temporal order in adjacent visual stimuli, **Vision Res.** **17:887**.

Wiener, N. (1948), Cybernetics or control and communication in the animal and the machine, MIT Press, Cambridge, Mass.

## Apéndice 1

### Circuitos

#### 1.1 Circuitos de control

Se ha querido estimular al sujeto en aquellos momentos que él defina como dispuesto para ello. Por este motivo se ha estructurado un programa de estimulación de forma que continuamente controle un bit de la entrada digital, si ésta está activada, el programa prosigue, en caso contrario este se mantiene en un loop controlando la entrada.

Para activar dicha entrada se ha implementado el circuito de la Fig-A1, en éste un sistema con un biestable (flip-flop) y dos monoestables permite purificar la señal del on y off del interruptor transformandolo en pulsos cuadrados, el J-K master slave, que cambia de estado solo con las transiciones, permite transformar los dos pulsos cuadrados correspondientes al inicio y al termino de la sesión experimental en sólo un pulso cuadrado de largo igual al tiempo de separación entre los dos pulsos. El control externo actua en el clear de este circuito master.

Con este circuito digital, sólo el sujeto dentro de la cabina de estimulación ( ambiente interno ) puede activar el bit de la entrada digital, oprimiendo el interruptor manual respectivo. Cuando no quiere seguir siendo estimulado, puede desactivar esta entrada oprimiendo nuevamente tal interruptor.

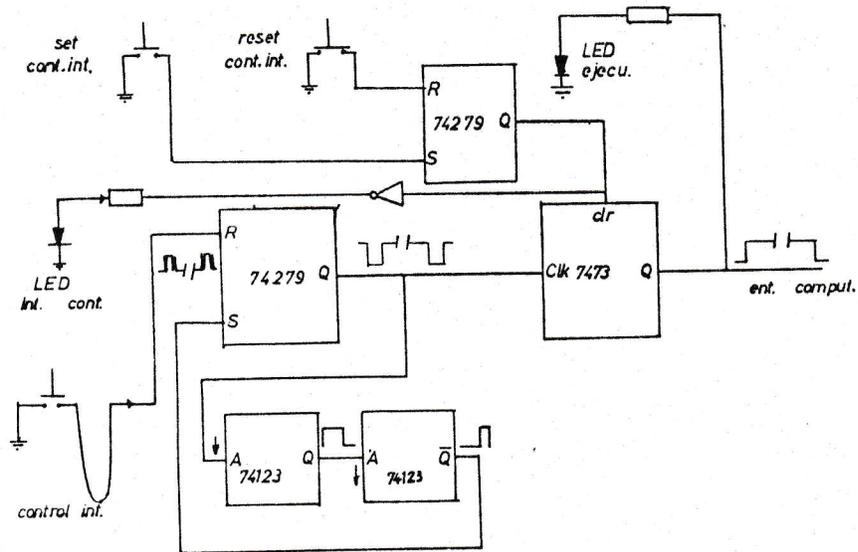


Fig. A1: Esquema del circuito de control de estimulación.

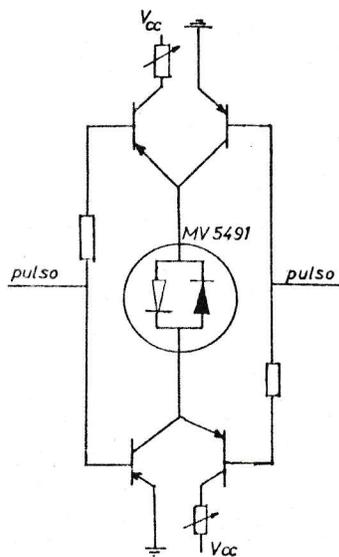


Fig. A2: Esquema del circuito de control de intensidad del LED bicolor.

El experimentador (ambiente externo) también puede desactivar esta entrada en el momento que él quiera terminar la sesión, mas no puede activarla, para ello es necesario traspasar el control del ambiente externo al interno ( se apaga el LED de control en el panel de estimulación ) para que sea el sujeto el que defina el inicio de la sesión.

#### 1.2 Control de intensidades del LED bicolor

El circuito que permite el control independiente de la intensidad de las dos emisiones del LED bicolor, es una red de transistores orientados es sentido inverso, Fig-A2.

Cuando las bases de los transistores estan inactivadas, no hay flujo de corriente y el LED se mantiene apagado, si las bases de una porción de la red ( la izquierda por ejemplo ) se activan, la corriente drena exclusivamente por este costado y por lo tanto es posible de controlarla con las resistencias variables en ese lado de la red, y viceversa, permitiendo el control independiente de la intensidad de corriente en uno y otro sentido del LED, y con ello de la intensidad de las emisiones.

## Apéndice 2

### Retardo

Un aspecto esencial en nuestros propósitos y en la discusión de este trabajo descansa en el presentar estímulos visuales en momentos particulares y relevantes del sistema nervioso de la persona.

Se utiliza con este objetivo el ritmo alfa, y se define como un estado relevante aquel que presenta un ritmo alfa con características particulares de amplitud y fase ( condiciones de disparo ). En tales situaciones son presentados los estímulos.

Sin embargo, nuestro sistema experimental introduce un retardo en la señal. Esto implica que si se presentan los destellos en aquellos momentos que satisfacen las condiciones de disparo, ello no significa que el sujeto tenga un ritmo alfa que también lo haga.

Aunque se considera el ritmo alfa sólo como una referencia del estado del sistema, fue necesario, para efectos de la definición de cotas, conocer la magnitud del tiempo de retardo.

Supongamos que la señal es una oscilación pura:

$$V = V_0 \cos(\omega t)$$

La señal retardada en un tiempo  $t_0$  será:

$$V' = V_0' \cos(\omega(t-t_0)) = V_0' \cos(\omega t - \omega t_0)$$

el término  $-\omega t_0 = -2\pi f t_0$ , será igual al desfase  $(\phi_0)$

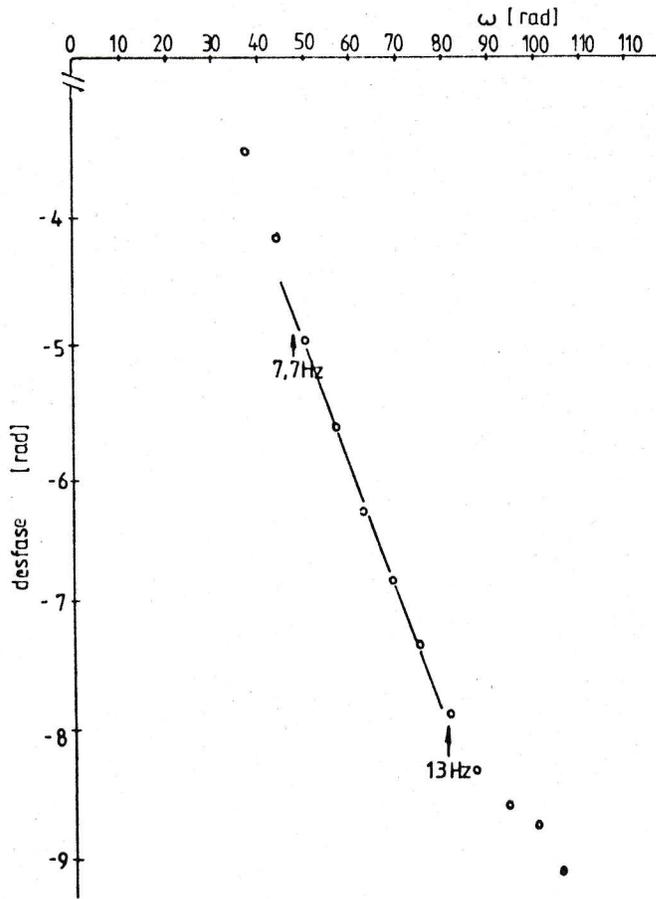


Fig. B1: Recta que mejor aproxima el desfase que introduce el filtro a distintas frecuencias, la pendiente que corresponde a  $-t$ , el tiempo de retardo, es de 94 mseg.

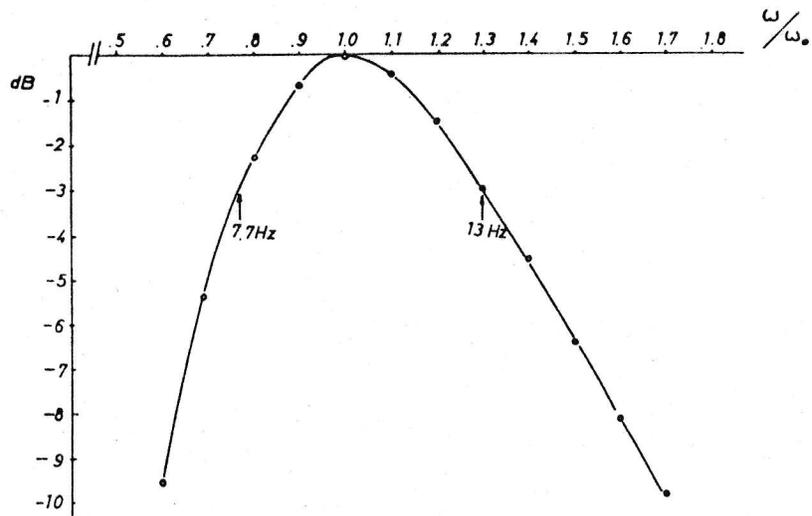


Fig. B2: Respuesta de frecuencia del filtro. Se observa que a 3 dB de caída, las frecuencias que corresponden a las de corte, son 7.7 y 13 Hz.

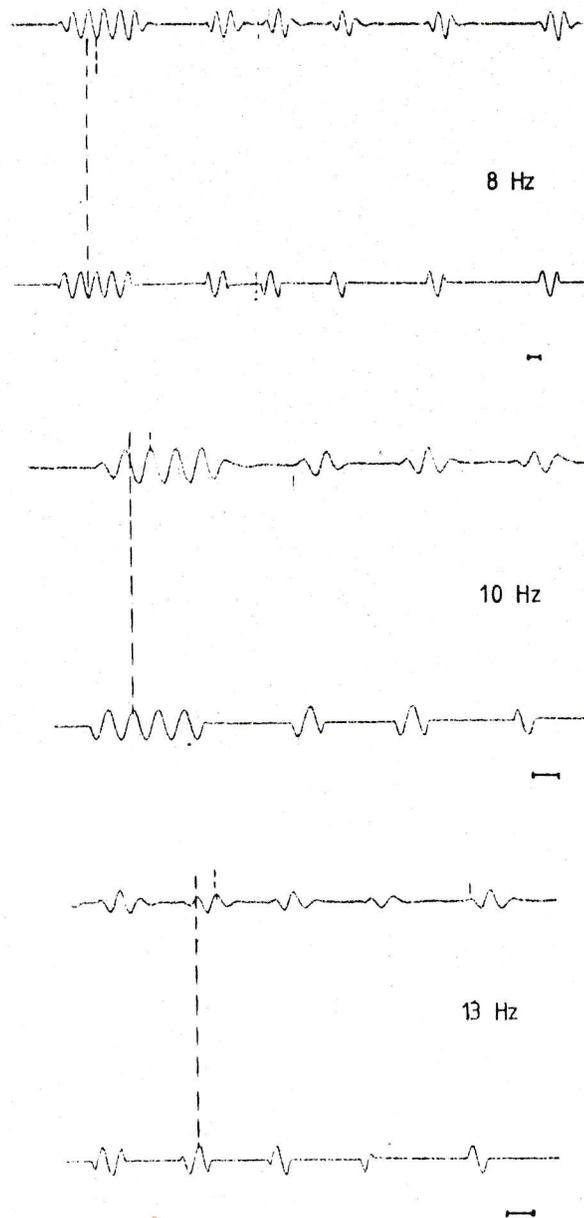
introducido por el sistema a una frecuencia  $f$ .

El desfase ( en radianes ) se midió con el método de las figuras de Lissajous, en que el barrido del osciloscopio es controlado en el sentido horizontal y vertical por la onda sinusoidal de entrada y salida del sistema. Cuanto más circular la figura, mayor será el desfase entre las ondas.

La curva que relaciona frecuencia con desfase se muestra en la Fig-B1; para el sistema compuesto por los amplificadores, el poligrafo y el filtro, ver Fig-1 del texto. En la Fig-B2 se presenta la respuesta de amplitud del filtro a distintas frecuencias, se observa que las frecuencias de corte son 7.7 y 13 Hz. Para las frecuencias comprendidas en dicho rango el desfase cambia linealmente, es decir el tiempo de retardo ( $t_0$ ) es constante y su valor es de 94 mseg. Posteriormente se comprobó que tal retardo es contribución sólo del filtro.

Con este método de medición se mide un valor relativo, ya que un desfase de  $F_0 + 2\pi$  también da una figura de Lissajous similar.

Para definir este valor de retardo se introdujo al sistema trenes de oscilaciones ( 2-5 periodos ) con diferentes frecuencias, y se registró en papel tanto el tren de entrada como el de salida ( si el poligrafo en su etapa de registro retardara la señal, este efecto sería similar para las dos ondas ). En la Fig-B3 se muestran estos trenes a distintas



**Fig. B3:** Retardo para distintas frecuencias entre la señal de entrada (registro inferior) y la señal de salida (registro superior) en el sistema polígrafo-amplificador-filtro, para distintas frecuencias: se observa que la magnitud del retardo observado se encuentra en el orden medido anteriormente. (Figura B1). Las barras para cada caso, corresponden a 100 mseg.

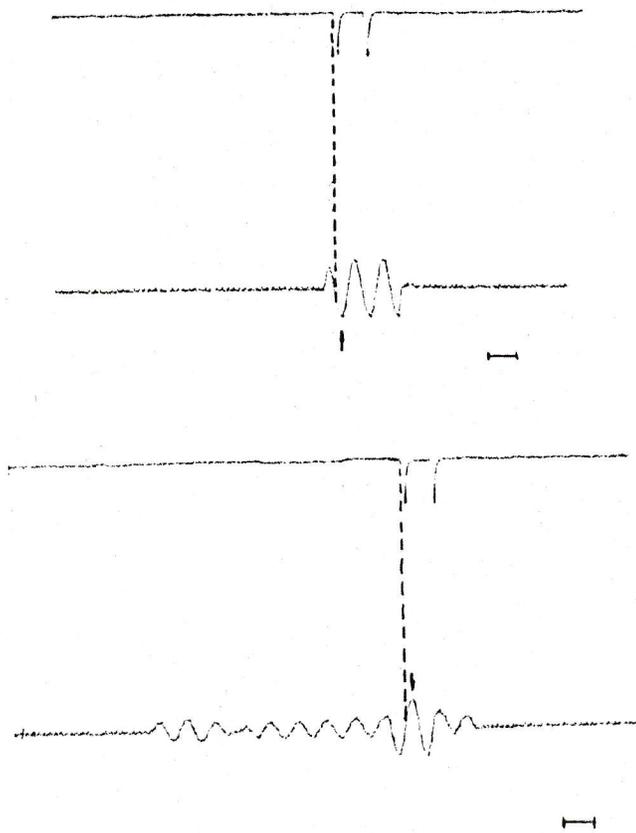


Fig. B4: Retardo en el registro de la señal y los pulsos correspondientes a los destellos, la flecha indica el momento de disparo, la barra corresponde a 100 mseg: se observa que los pulsos se adelantan 20 mseg.

frecuencias, se observa que el valor de retardo está en el rango del encontrado mediante el otro método, por lo que en definitiva el retardo del sistema tiene un valor de 94 mseg.

En los registros en papel los pulsos con respecto al ritmo alfa están también retardados, en este caso es el ritmo alfa el que se retarda en 20 seg. Esto se comprueba introduciendo al computador, en que se está ejecutando un programa de disparo sincronizado, trenes de oscilaciones, y se registran estas oscilaciones y los pulsos. Se observan en la Fig-B4 estos registros, se comprueba que los pulsos están adelantados con respecto a las oscilaciones en el orden ya señalado.

### Apéndice 3

#### Cotas

Se ha descrito con anterioridad las circunstancias por las que fue necesario definir dos cotas: la operacional y la real. En éste apéndice describiremos cómo se obtuvieron las funciones de coherencia temporal y en frecuencia, así como las razones por las cuales se eligió como cota operacional 2.58 veces el promedio de los extremos superior e inferior de las oscilaciones.

#### Coherencia en frecuencia (Cf)

Esta función relaciona el voltaje de una oscilación con su frecuencia, y más específicamente nos interesa la variabilidad de tal valor de frecuencia para oscilaciones con un voltaje extremo dado.

Para conocer esta función se muestreó el ritmo alfa, obteniéndose para cada extremo de voltaje de una oscilación su semiperíodo - el semiperíodo se calcula midiendo el tiempo entre cruces por cero volts.

Con estos pares de datos, extremo de voltaje - semiperíodo, se calculó la varianza en los valores del semiperíodo para todas las oscilaciones con su extremo de voltaje comprendido en un rango dado.

La curva en la Fig-C1, muestra los datos así como la curva que los aproxima, para seis personas; en ella la abscisa

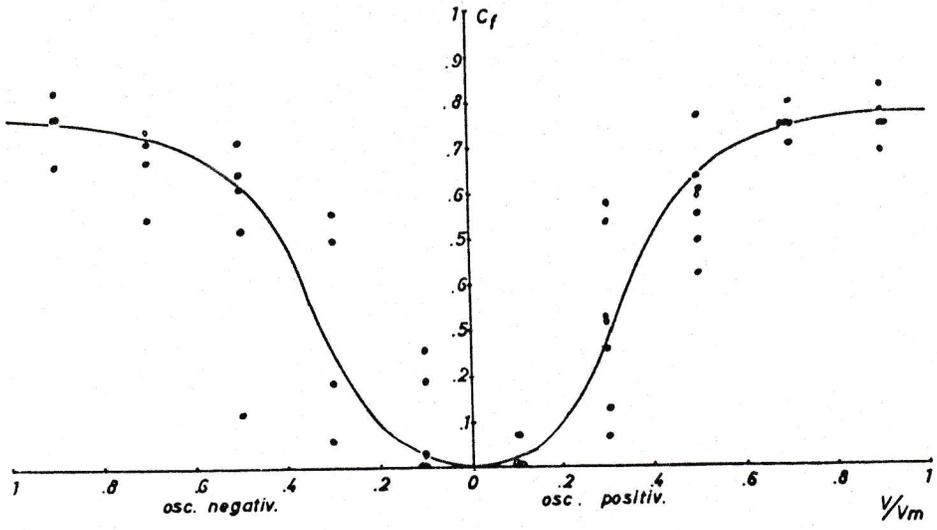


Fig. C1: Función de coherencia en frecuencia.

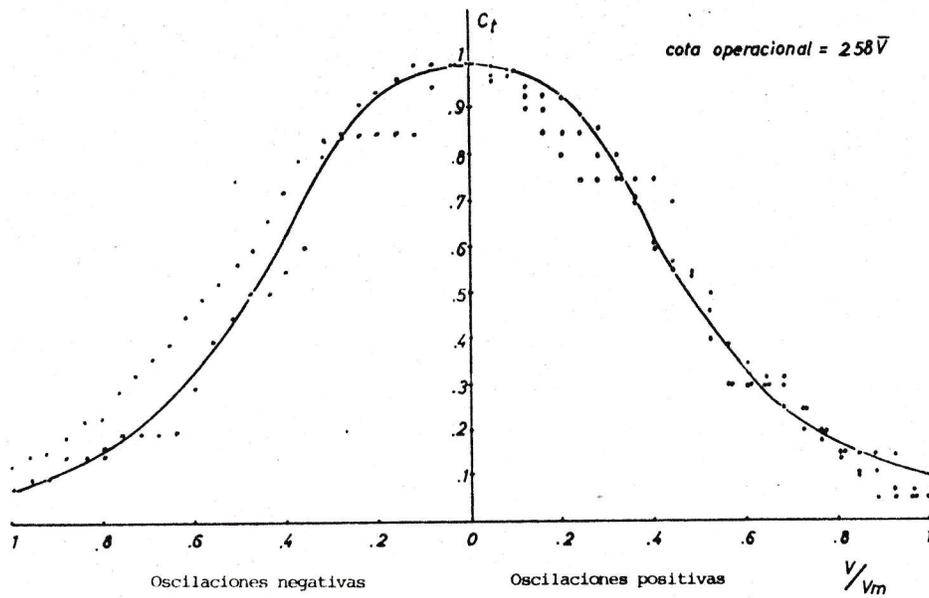
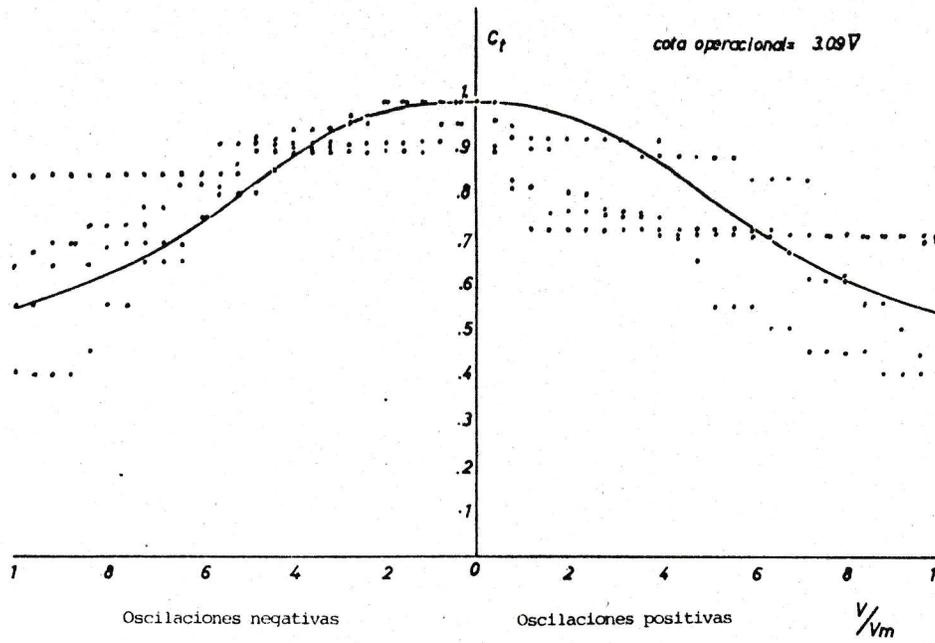


Fig. C2: Funciones de coherencia temporal para dos cotas operacionales.

corresponde al valor de voltaje medio para los rangos utilizados, normalizados con el valor máximo de voltaje encontrado, la ordenada corresponde a una forma normalizada de la varianza dada por:

$1 - \sigma / \sigma_{\max.}$  ,  $\sigma_{\max.}$  varianza máxima encontrada.

Las funciones analíticas de las curvas trazadas son:

$Cf = ( 22.4 Vn^{3.64} ) / ( 0.5 + 28 Vn^{3.64} )$ ;  $Vn$ : voltaje normalizado.

#### Coherencia temporal (Ct)

Con esta función queremos establecer cuál es la probabilidad de que dado que una oscilación supera la cota operacional, las dos siguientes superen la cota real.

La forma de construir esta función fue obteniendo de todas las oscilaciones que superaban una cota operacional, los extremos de voltaje de la dos oscilaciones que le seguían. Posteriormente se calculó la probabilidad de que estos dos voltajes superaran un cierto valor de voltaje que variaba entre 0 y 2.5 Volts para las oscilaciones positivas y 0 y -2.5 Volts para las negativas.

Para seis personas la función encontrada para dos cotas operacionales se muestra en la Fig-C2, en ella la absisa corresponde al valor normalizado del voltaje, al igual que el caso anterior, y la ordenada corresponde a la probabilidad

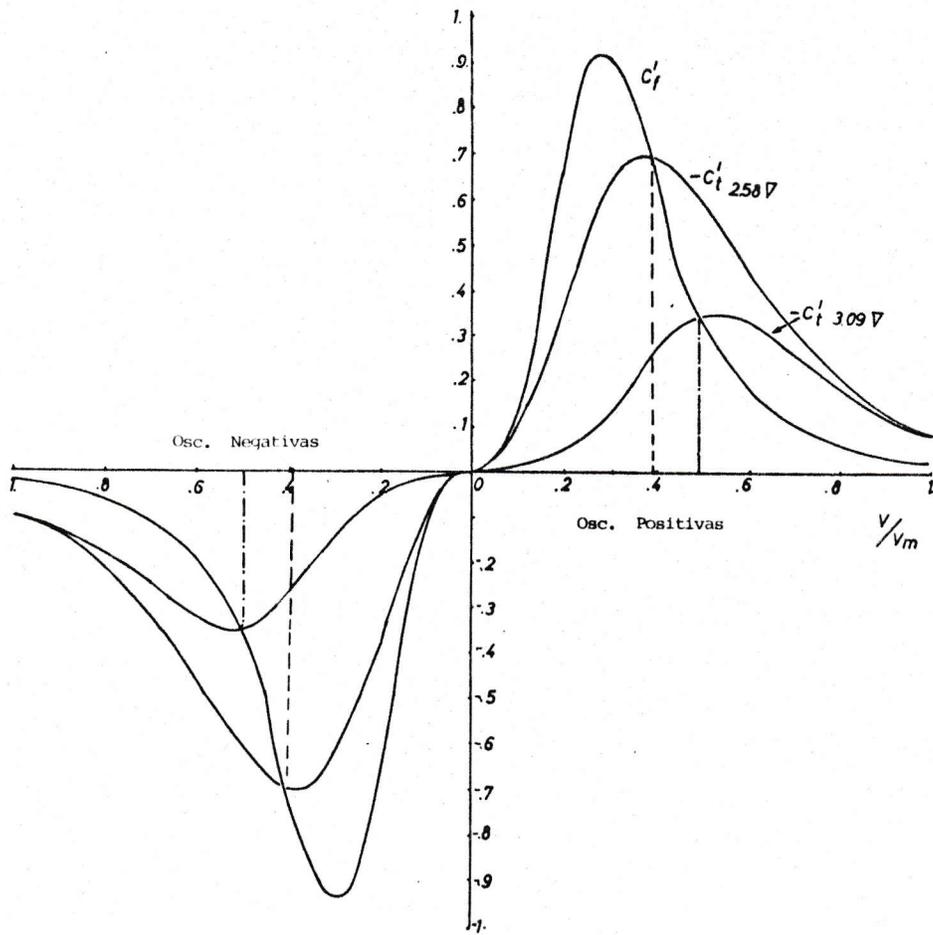


Fig. C3: Comparación entre las funciones derivadas de las funciones de coherencia temporal y frecuencia.

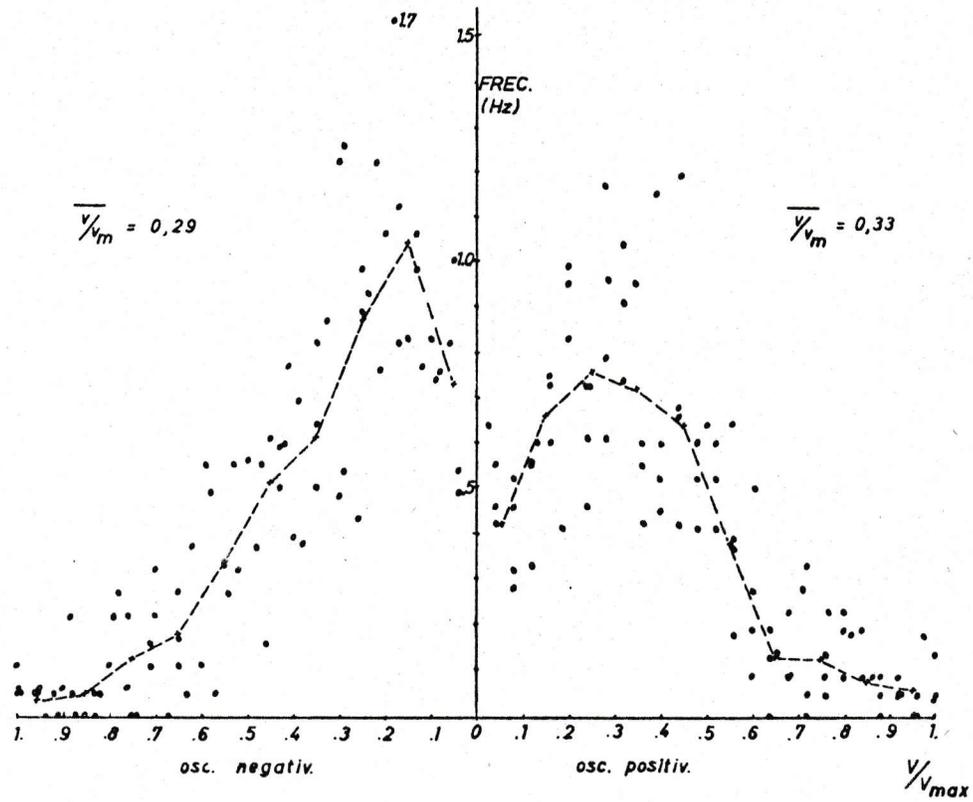


Fig. C4: Gráfico de frecuencia de oscilaciones, en cuatro distintas sesiones experimentales en RS.

condicional ya señalada.

Las curvas que aproximan los puntos tienen expresión analítica dada por :

$C_t = ( 1.72 ) / ( 1.72 + 15.6 V_n^3 )$  para una cota operacional de 2.58 veces el promedio.

$C_t = ( 5.06 + 19.5 V_n^4 ) / ( 5.06 + 39 V_n^4 )$  para una cota operacional de 3.09 veces el promedio.

Nosotros queremos maximizar estas dos funciones, para ello definimos

$$C = C_t + C_f ; \text{ todas ellas función de voltaje.}$$

en el valor máximo de C, su derivada será igual a cero, por lo que:

$$C_t = -C_f$$

en el valor de voltaje en que C se maximiza.

Las curvas para estas dos funciones se muestran en la Fig-C3, se observa que el valor de voltaje normalizado en que se da esta igualdad ( cota real buscada ), corresponde a 0.38 para una cota operacional de 2.58 veces el voltaje promedio y 0,40 para una cota operacional de 3.09 veces el voltaje promedio.

Por otra parte, si se grafica la frecuencia con que se presentan oscilaciones del ritmo alfa de determinado valor de voltaje, se observa la Fig-C4. Se comprueba que la frecuencia de aparición de estas cotas operacionales es muy bajo por lo que elegimos una cota operacional de 2.58 veces el voltaje

promedio.

Este valor de cota presenta las siguientes características según nuestros resultados: su frecuencia de aparición es de alrededor 7 por minuto ( 0.1 hz ); la probabilidad que las dos oscilaciones que le siguen, superen la cota real es de 0.55 y la coherencia en frecuencia alcanza 0.6 unidades.

Todo este estudio se realizó eliminando la señal d.c. por lo que al realizar los experimentos propiamente tales, debió ser necesario corregir estos valores de cota con el nivel d.c. encontrado ( no mayor a 100 mV ).

