

25  
29.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

**CAMPUS ARAGÓN**

**“DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA  
DIGITAL PARA LA MEDICION DEL TIEMPO DE  
REACCION EN SERES HUMANOS ”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO EN COMPUTACION**

**P R E S E N T A N :**

**SAUL GARCIA FIERRO  
ENRIQUE RODRIGUEZ MENDOZA**

**ASESOR DE TESIS :  
M.I. ANGEL R. ZAPATA FERRER**

**MÉXICO**

**1998**

**TESIS CON  
FALLA DE CRICEN**

264222



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
CAMPUS ARAGÓN

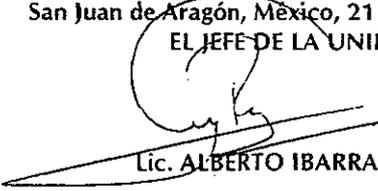
UNIDAD ACADÉMICA

Ing. JUAN GASTALDI PÉREZ  
Jefe del Área de Ingeniería en Computación,  
Presente .

En atención a la solicitud de fecha 19 de mayo del año en curso, por la que se comunica que los alumnos SAÚL GARCÍA FIERRO y ENRIQUE RODRÍGUEZ MENDOZA, de la carrera de Ingeniero en Computación, han concluido su trabajo de investigación intitulado "DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DIGITAL PARA LA MEDICIÓN DEL TIEMPO DE REACCIÓN EN SERES HUMANOS", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted las seguridades de mi atenta consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México, 21 de mayo de 1998  
EL JEFE DE LA UNIDAD



Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS

✓ c c p Asesor de Tesis.  
c c p Interesado.

AIR/MCA/IIa.



---

**A DIOS**

*...origen y fuente de todas las cosas, en quien deposito mi fe*

**A mi madre María del Carmen Mendoza Meneses**

*...a quien debo todo lo bueno que hay en mí, por su amor y apoyo*

**A mi tío Pepe**

**A mis hermanos Fernando y Carlos**

*...por todo, ¡gracias!*

**A mis familiares**

**A mis amigos y compañeros a través de los años**

\*\*\*

**A DIOS**

**A Jesucristo**

*...por su inconmensurable amor*

**A mi esposa María de Lourdes Tena Martínez**

**A mi padre Saúl García Martínez**

**A mi madre Martha Fierro**

*...por ser lo más grande que tengo en mi vida*

**A mi hermana Griselda<sup>+</sup>**

**A mi bisabuela Doña Guadalupe Gómez Torres<sup>+</sup>**

*...siempre las llevo dentro de mí*

**A mi Abuela Doña Victoria Martínez<sup>+</sup>**

*...porque todo lo bueno que hay en mí también es su obra*

**A Doña Valeria Hurtado de Ortega<sup>+</sup>**

*...porque dio forma a la gran mujer que da sentido a mi existencia*

**A mis hermanos Omar, Gabriel, Javier, Vero, Martha y Violeta**

**A mi abuela Doña Librada Fierro y a sus hijos Alejandro, Agustín, Dolores y Carmen**

**A mi tía Socorro y a su familia**

*...por todos esos años de amor y amistad que me brindaron*

**A mis amigos Ulises Moreno González, Enrique Rodríguez Mendoza y Rafael Herbert Pérez**

*...por aceptarme a pesar de mis defectos*

---

---

*A nuestro maestro y amigo M.I. Angel Ramón Zapata Ferrer, Investigador Nacional y Jefe del Laboratorio de Bioingeniería del Instituto Mexicano de Psiquiatría*

*...sin él, este trabajo de tesis, así como muchas otras obras buenas de este mundo, no hubieran sido posibles. Como un homenaje a su calidad humana y grandeza científica*

---

---

**Agradecemos**

**A La Universidad Nacional Autónoma de México  
Al grupo de investigadores de la División de Estudios de Posgrado de la facultada de Psicología**

**Dr. José Méndez Venegas, Investigador de la División de Psiquiatría del Instituto Nacional de  
Pediatria  
Dr. Arturo Puente Lomelín  
Dra. Mary Corsi Cabrera  
Dra. Selene Cansino  
Dr. Alfonso Salgado Benítez  
Dra. Berenice Gálvez  
Dr. Gustavo Luna Villegas, Jefe del Laboratorio de Sueño del Instituto Mexicano de Psiquiatría**  
**por su invaluable contribución científica para la realización de este trabajo.**

**A las investigadoras, Psic. Lucía Rivera y M. en P. Maribel Vázquez, por su apoyo para la  
aplicación del instrumento de medición del tiempo de reacción en sus propios estudios realizados  
con niños en el Laboratorio de Sueño del Instituto Nacional de Neurología de la ciudad de  
México.**

**Al Ing. Cesar del Cid Orozco**

**Al Campus Aragón de la UNAM, en especial a**

**Ing. Oscar Alvarez Melendez  
Ing. Silvia Vega Muytoy  
Ing. Gabriela González Hernández  
Ing. Ernesto Peñaloza Romero**

**por su tiempo y disposición para la revisión del trabajo escrito**

**Al Instituto Mexicano de Psiquiatría, especialmente a**

**Dr. Augusto Fernández Guardiola, Jefe de la división de Investigación en Neurociencias**

**Al Instituto Mexicano del Petróleo, especialmente a**

**Ing. Horacio Loyo, gerente de la Representación Zona Centro  
Ing. Zenón Pérez Matus, Jefe de la División de Ingeniería Informática  
Lic. Genaro Guzmán Rodríguez, Jefe del Depto. de Sistemas de Información**

**por las facilidades y el apoyo otorgados para la realización del presente trabajo**

**Al Ing. Javier Becerril Ayala del Depto. de Desarrollo de Sistemas de Ingeniería**

**por su apoyo para la realización del programa de cómputo**

---

---

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DIGITAL  
PARA LA MEDICIÓN DEL TIEMPO DE REACCIÓN  
EN SERES HUMANOS**

---

---

## ÍNDICE

	Pag.
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: Elementos de Diseño Digital.	
• La representación de la información	4
• Elementos básicos del álgebra de Boole	8
• Elementos básicos sobre la lógica combinatoria	14
• Elementos básicos sobre circuitos multivibradores	16
• Elementos básicos sobre la lógica secuencial	23
CAPITULO II: Procedimiento de Medición del Tiempo de Reacción.	
• Estimulación y percepción del estímulo	31
• Breve introducción a los sistemas visual, auditivo y cutáneo	32
• El tiempo de reacción (T.R.)	42
• Parámetros de estimulación y otras consideraciones para el diseño	50
CAPITULO III: Diseño del Instrumento Digital de Medición del Tiempo de Reacción.	
• Introducción	56
• Conceptos básicos acerca de los circuitos integrados TTL(LS)	56
• Introducción a la conmutación de los transistores bipolares	62
• Diseño del instrumento de medición del T.R.	65
• Estructura interna del módulo de registro del T.R.	74
• Estructura interna del módulo de definición de estímulos	80
• Tiempos de retardo fundamentales	90
CAPITULO IV: Aplicaciones y Software.	
• Guía de operación del instrumento de medición del T.R.	91
• Aplicaciones	98
• Programa de consulta y graficación del T.R. (CYGTIRE)	99
• Guía de usuario de CYGTIRE	113
CONCLUSIONES	130
APENDICE A. Fuentes de Alimentación	132
APENDICE B. Circuitos de Conmutación	134
APENDICE C. Costo de Material	138
BIBLIOGRAFÍA	141

---

## INTRODUCCIÓN

Cuando el organismo de un ser humano experimenta una sensación debida a un estímulo externo de alguna índole, se desata una compleja serie de eventos en el sistema nervioso que desembocan en una respuesta motora específica. Evidentemente, cada evento introduce un retardo. Los fenómenos de conducción por vías nerviosas aferentes y eferentes, la integración de la información en los distintos niveles funcionales, la difusión a la corteza motora, e inclusive el mismo estado psicológico del sujeto, definen el tiempo que transcurre entre la percepción del estímulo por los órganos sensoriales hasta la conformación de una respuesta por el efector, este tiempo es conocido como Tiempo de Reacción (T.R.).

El estudio de los tiempos de reacción tuvo su antecedente en los estudios realizados por Helmholtz cuyo interés por conocer la velocidad de conducción de las fibras nerviosas lo llevó a trabajar con el nervio motor de las ranas, estimulándolo cerca y lejos de la articulación neuromuscular. De esta forma determinaba la demora de la respuesta muscular al estímulo para ambos casos, además calculaba la velocidad de conducción en el nervio basándose en la diferencia de las demoras de conducción y la distancia entre los dos puntos donde se aplicaba el estímulo. Posteriormente estudió la velocidad de conducción en el ser humano; su método consistía en aplicar un débil shock eléctrico en diversos puntos de la piel del sujeto, el cual debía responder al shock con la mayor velocidad posible mediante un movimiento previamente determinado. Helmholtz creyó poder calcular la velocidad de conducción nerviosa basándose en un principio que afirma que la latencia (retardo) de la respuesta aumenta conforme aumenta la longitud de las fibras nerviosas que se unen en el punto estimulado en la corteza cerebral (o sea en función de la distancia existente entre la cabeza y el punto estimulado), pero tuvo grandes dificultades debido a que los resultados eran incoherentes y variaban demasiado entre sí (los tiempos más cortos eran para distancias más largas y a la inversa), por lo que abandonó el método; aunque lo mencionó brevemente en una conferencia publicada en 1850, y posteriormente en 1867 en un estudio que hablaba de la conducción nerviosa en el ser humano. El artículo original apareció traducido en una publicación inglesa en 1853 y varios autores se dieron cuenta entonces de la gran importancia del método que Helmholtz había creado; ellos no solo lo precisaron sino que también le dieron la forma que tiene en nuestros días. Recibió la denominación de "tiempo de reacción" en el año de 1873 por Exner.

La medición del tiempo de reacción de un individuo a estímulos visuales, auditivos y somatosensoriales (tacto) ha sido motivo de un gran número de investigaciones en ciencias de la conducta para *valorar* el efecto de la fatiga, el castigo, el incentivo y la práctica sobre el tiempo de reacción. Apoyado en estos estudios, el T.R. también se ha convertido en un fenómeno de interés para diversas disciplinas médicas que lo han identificado como un comprobado índice de la alteración del funcionamiento cerebral bajo ciertos aspectos patológicos como la hipoglucemia por insulinomas, la disartría, la depresión, la ansiedad y la lobotomía <sup>[12]</sup>.

Un sistema para medir tiempo de reacción es un instrumento que básicamente consta de una fuente emisora de estímulos sensoriales, esto es, que impresionan los sentidos (luces, sonidos, pulsos eléctricos) a los cuales pueden cambiárseles las llamadas propiedades sensoriales (por ejemplo, el color de la luz, la frecuencia del sonido ó la intensidad de los estímulos).

El desarrollo de instrumentos para medir el T.R. ha evolucionado, desde el cronoscopio de Hipp, que mide en forma mecánica un solo tiempo, hasta los programables para diversos protocolos de presentación del estímulo, los discriminativos que modifican la cualidad del estímulo, los multiestimuladores bilaterales y los que miden el tiempo de ejecución de tareas en lugar del tiempo entre el estímulo y las respuestas sencillas<sup>[12]</sup>.

Con el advenimiento de las computadoras, evidentemente, los investigadores en ciencias de la conducta han advertido el creciente potencial que los sistemas de procesamiento digital han tenido a lo largo de su evolución para manejar de forma rápida y confiable la información involucrada en los diversos procesos biológicos encontrados en la naturaleza. Actualmente por tanto, la medición del tiempo de reacción involucra también la utilización de equipos de cómputo y software.

Sin embargo, si bien los avances en materia de electrónica han reducido el costo de fabricación de los componentes para el desarrollo de sistemas digitales, también es cierto que estos sistemas frecuentemente son muy costosos para que puedan ser adquiridos y mantenidos por países pobres que no cuentan con tecnología propia. Esto es particularmente cierto en instituciones de gobierno donde la investigación biomédica es incipiente, y los pocos recursos disponibles se destinan a otras prioridades.

La división de Psiquiatría del Instituto Nacional de Pediatría de la ciudad de México actualmente realiza investigaciones incipientes en el campo de la *Psico-Oncología*, una rama de la psiquiatría de desarrollo relativamente reciente que se especializa en la asistencia psicológica y psiquiátrica de pacientes enfermos de cáncer así como de sus familias. Uno de los objetivos de esta ciencia es la valoración de posibles daños al sistema nervioso como resultado de la aplicación de la radioterapia y quimioterapia. La determinación del valor del tiempo de reacción en esta investigación es de particular importancia.

El presente trabajo trata sobre el diseño y la construcción de un sistema digital práctico para la medición del tiempo de reacción que será aplicado para la evaluación de los efectos del tratamiento con fármacos en la fisiología del sistema nervioso de niños enfermos de cáncer. El diseño del sistema se apega a ciertas especificaciones de tal forma que podrá emitir estímulos visuales, auditivos y somatosensoriales (táctiles); podrá ser transportado a cualquier parte dentro del centro de investigación u hospital y existirá la libertad de modificar parámetros ó factores que la investigación psiquiátrica ha demostrado que pueden influir en la medición del tiempo de reacción.

Este trabajo esta dividido en las siguientes partes:

- En el capítulo 1 se exponen los conceptos básicos sobre la representación digital de la información y los componentes fundamentales de todo sistema digital.
- En el capítulo 2 se exponen los conceptos en los que se apoya la teoría del tiempo de reacción, la descripción del método y los requerimientos para el diseño del sistema.
- El capítulo 3 trata sobre del diseño y desarrollo del sistema digital.
- El capítulo 4 presenta la guía de usuario del instrumento creado y su aplicación, incluyendo el desarrollo de un programa de software que aprovecha los datos obtenidos para la graficación y el cálculo de la media aritmética de un grupo de valores de T.R.

---

# **CAPÍTULO I**

**ELEMENTOS DE DISEÑO DIGITAL**

---

## LA REPRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Todo ser vivo para sobrevivir en su interacción con la naturaleza, ha tenido la necesidad en mayor o menor grado de *manejar la información* que recibe de ella. El genero humano, como única especie que puede transformar su entorno, durante su evolución ha establecido criterios para poder *cuantificarla* ó determinar su *valor* y así poder procesarla para su beneficio. Dos formas básicas de representación de las magnitudes numéricas se han desarrollado a saber: la representación analógica y la representación digital.

En la forma analógica, una cantidad es representada por medio de otra que es directamente proporcional a la primera y que varía gradualmente o de forma "suave" sobre un intervalo *continuo* de valores. Considérese por ejemplo el mecanismo del flotador de un depósito de agua. La variación en la posición del brazo del flotador *refleja* la variación continua del nivel del líquido mientras se llena de agua el tanque. Para controlar la cantidad de líquido ingresado en el tanque se utiliza la deflexión del brazo para controlar la apertura o cierre de la válvula de paso del agua.

Por otra parte, entre la posición inicial (tanque vacío) y la posición final (tanque lleno), el brazo del flotador tendrá una posición definida *en todo momento*. Esto puede generalizarse diciendo que al elegir dos puntos sobre un intervalo continuo de valores, no importa que tan cercanos se encuentren el uno del otro, siempre se podrá tener un valor *definido* entre ellos.

En la forma digital, la información se representa mediante símbolos o elementos discretos de información. Cada elemento designa una *etapa o paso* durante la variación de la información representada de tal manera que no se encuentra *definido* ningún valor *entre* dos etapas o pasos consecutivos. Considérese por ejemplo la medición experimental del valor de la corriente que pasa por una resistencia al aplicarle un conjunto de voltajes previamente seleccionados entre sus terminales. Si el experimentador ha fijado su intervalo de estudio entre 0 volts y 50 volts y desea reflejar en una gráfica las variaciones de la corriente, tal vez solo determinaría su valor *cada vez* que los valores del voltaje fueran múltiplos de 10. Aquí las etapas de variación en la determinación de los valores de corriente son cuando se aplican 0, 10, 20, 30, 40 y 50 volts, no determinándose el valor de la corriente en valores de voltaje entre estas etapas.

Podemos ver que la diferencia principal entre las cantidades analógicas y las digitales es la siguiente: analógico = variación continua, digital = variación discreta (paso a paso).

### Breve introducción a los Sistemas Analógicos y Sistemas Digitales.

**Sistema.** Es un conjunto de elementos o principios interrelacionados y que funcionan para la consecución de un fin común.

**Sistemas Analógicos.** Es un conjunto de dispositivos ensamblados o interconectados para la ejecución de una función determinada en los cuales las cantidades se representan en forma analógica. Como ejemplos de sistemas analógicos tenemos los sistemas de grabación de audio, los sistemas de video, relojes de maquinaria, velocímetros, termómetros, barómetros y amplificadores operacionales. Por su naturaleza, la información *manejada por estos sistemas se presta frecuentemente a una interpretación muy personal.*

**Sistemas Digitales.** Es un conjunto de dispositivos ensamblados o interconectados para la ejecución de una

función determinada en los cuales las cantidades se representan en forma discreta y debido a su naturaleza no existe ambigüedad cuando se lee el valor de la información manejada por ellos. El ejemplo más conocido de sistema digital son las computadoras. Ellas han hecho posible muchos avances en todas las ramas del quehacer humano. Sus características más impactantes son:

a).- Su **generalidad**. Pueden seguir una serie de instrucciones llamadas en conjunto "Programa", que operan con determinada información. Tanto los "programas" como los datos pueden determinarse y modificarse según las necesidades del momento, y por ello la variedad de tareas que pueden realizar es enorme. En el campo que nos atañe, es de gran utilidad para valorar a un sujeto o paciente.

b).- Su **velocidad**. Pueden procesar miles de datos discretos en un tiempo extraordinariamente reducido si lo comparamos con otras formas de procesamiento.

c).- **Exactitud**. Dada la naturaleza del manejo de información (discreta), los resultados obtenidos son altamente confiables.

d).- **Capacidad de memoria**. La capacidad de almacenar mucha información en espacios reducidos de forma temporal y/o permanente.

En términos generales, los sistemas digitales presentan ventajas sobre los analógicos por las características enunciadas anteriormente. Ahora bien, en el universo, gran parte de los fenómenos involucran cantidades que son analógicas por naturaleza. Si el género humano ha de aprovechar las ventajas de la representación digital entonces deben existir sistemas híbridos: En ellos, existen cantidades analógicas y digitales y se efectúa una transformación constante entre los dos tipos de representación. ( **Conversión Digital - Analógica y Conversión Analógica - Digital**).

### **El Código Binario.**

Un sistema digital maneja información en forma de elementos discretos. Se dice que dicha información presentada de este modo ha sido *codificada* y al grupo de símbolos que sirve para representarla se le conoce como *código*.

El código decimal se compone de 10 símbolos (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9). La experiencia con el mundo real nos indica que podemos expresar cualquier cantidad con estos 10 símbolos realizando una yuxtaposición en la cual la *posición* de cada símbolo le confiere su valor.

Aunque el ser humano utiliza el código decimal para manejar la información en el mundo real, los sistemas digitales trabajan primordialmente en base a un código de *dos* únicos valores discretos o estados de operación posibles que pueden interpretarse como 1 y 0 ó encendido y apagado. La razón principal por la que se utilizan solo dos valores discretos ha sido la confiabilidad de operación de los sistemas digitales. Un sistema digital utiliza niveles *fijos* de variables físicas ( voltajes y corrientes ) para representar los símbolos de un código. Sistemas que manejen varios niveles además de ser más difíciles de hacer, seguramente operarán de forma errónea de manera frecuente por las fluctuaciones naturales de los niveles de las variables que representan los valores discretos de información.

Cualquier dato discreto es susceptible de codificarse en forma de secuencias o yuxtaposiciones de 0s y 1s de forma análoga a como se hace en el sistema decimal. Esta secuencia empleada para representar dicho dato es llamada representación en *código binario*.

Un bit es por definición un *dígito binario*, y dentro de un código binario representa dos elementos distintos (0 y 1) de igual forma que un dígito decimal representa diez elementos distintos (0 a 9). Un grupo de 2 bits puede representar cuatro elementos (00, 01, 10 y 11) y 3 bits pueden caracterizar 8 elementos (000, 001, 010, 011, 100, 101, 110 y 111). En general N bits pueden *combinarse* de  $2^N$  maneras distintas por lo que se dice que N bits pueden representar a  $2^N$  elementos distintos.

### Sistemas decimal y binario.

La experiencia humana ha estado íntimamente ligada a la noción decimal. El código decimal es un sistema numérico que ha funcionado siempre como un medio para "contar" ó determinar el *valor* de las entidades físicas que interactúan en la naturaleza. Como utiliza 10 símbolos se dice que es de base diez (10). El código binario también es un sistema numérico que utiliza dos símbolos por lo que se dice que es de base dos (2). Para la utilización de los sistemas digitales, es necesario saber la relación existente entre ambos sistemas.

En general, el *valor* en decimal de un número dado en otro sistema numérico de base r se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$a_n r^n + a_{n-1} r^{n-1} + a_{n-2} r^{n-2} + \dots + a_3 r^3 + a_2 r^2 + a_1 r + a_0 + a_{-1} r^{-1} + a_{-2} r^{-2} + \dots + a_{-m} r^{-m} \quad (\text{EC.I.1})$$

Donde los coeficientes ( $a_j$ ) varían en valor entre 0 y r-1.

El código binario es un sistema numérico para el cual r = 2. Sustituyendo en (EC.1) Tenemos:

$$a_n 2^n + a_{n-1} 2^{n-1} + a_{n-2} 2^{n-2} + \dots + a_3 2^3 + a_2 2^2 + a_1 2 + a_0 + a_{-1} 2^{-1} + a_{-2} 2^{-2} + \dots + a_{-m} 2^{-m} \quad (\text{EC.I.2})$$

donde los coeficientes ( $a_j$ ) tienen el valor de 0 ó 1. La expresión EC.I.2 es el valor en el sistema decimal de un número expresado en binario. Para denotar a un número M en base r se utiliza la notación (M),

Revisando EC.I.1 y EC.I.2 podemos encontrar:

- 1.- Un número de un sistema de base r con N dígitos puede describir de 1 a  $r^N$  elementos distintos
- 2.- El *conteo* se realiza desde 0 hasta  $r^N - 1$ .

**Ejemplo.** Considérense los dígitos del sistema decimal y sus equivalentes binarios:

0000	(0) $2^3 + (0) 2^2 + (0) 2^1 + (0) 2^0$	= 0	1010	(1) $2^3 + (0) 2^2 + (1) 2^1 + (0) 2^0$	= 10
0001	(0) $2^3 + (0) 2^2 + (0) 2^1 + (1) 2^0$	= 1	1011	(1) $2^3 + (0) 2^2 + (1) 2^1 + (1) 2^0$	= 11
0010	(0) $2^3 + (0) 2^2 + (1) 2^1 + (0) 2^0$	= 2	1100	(1) $2^3 + (1) 2^2 + (0) 2^1 + (0) 2^0$	= 12
0011	(0) $2^3 + (0) 2^2 + (1) 2^1 + (1) 2^0$	= 3	1101	(1) $2^3 + (1) 2^2 + (0) 2^1 + (1) 2^0$	= 13
0100	(0) $2^3 + (1) 2^2 + (0) 2^1 + (0) 2^0$	= 4	1110	(1) $2^3 + (1) 2^2 + (1) 2^1 + (0) 2^0$	= 14
0101	(0) $2^3 + (1) 2^2 + (0) 2^1 + (1) 2^0$	= 5	1111	(1) $2^3 + (1) 2^2 + (1) 2^1 + (1) 2^0$	= 15
0110	(0) $2^3 + (1) 2^2 + (1) 2^1 + (0) 2^0$	= 6			
0111	(0) $2^3 + (1) 2^2 + (1) 2^1 + (1) 2^0$	= 7			
1000	(1) $2^3 + (0) 2^2 + (0) 2^1 + (0) 2^0$	= 8			
1001	(1) $2^3 + (0) 2^2 + (0) 2^1 + (1) 2^0$	= 9			

Elementos definidos para  $N = 4$ :  $2^4 = 16$

El conteo se realiza desde 0 hasta  $16 - 1 = (15)_{10} = (1111)_2$

**Código BCD.**

Por EC.1.2 observamos que cualquier número decimal puede representarse mediante su equivalente en binario, obteniéndose un código llamado "decimal codificado en binario" (conocido por sus siglas en inglés como BCD). Dado que un dígito decimal puede ser menor o igual al número 9, se requieren cuatro bits para codificar a cada dígito.

El código BCD solo hace uso de los 10 primeros valores de las 16 posibles combinaciones de los cuatro bits. Por ejemplo el número 794 es representado en código BCD de la siguiente manera:

7	9	4	(decimal)
↓	↓	↓	
0111	1001	0100	(Cada número en su equivalente binario)

$(794)_{10} = 0111\ 1001\ 0100$  (BCD)

El código binario directo, toma un número decimal completo y lo representa en forma binaria; en cambio el código BCD convierte cada dígito decimal en binario en forma individual. Por ejemplo, considérese como se representa el número 555 en BCD y en binario directo:

$555_{10} = 1000101011_2$	(binario)
$555_{10} = 010101010101$	(BCD)

En este ejemplo podemos apreciar que el código BCD requiere más bits que el binario directo para representar números decimales de más de un dígito, sin embargo su principal ventaja es la facilidad de conversión a decimal y viceversa dado que solo es preciso recordar los grupos de código de cuatro bits para representar los dígitos decimales del 0 al 9.

El código BCD se emplea en sistemas digitales donde la información decimal se aplica como entrada, como es el caso de las calculadoras electrónicas, o en sistemas donde se utiliza como salida, como es el caso de los cronómetros digitales ó los multímetros digitales.

**Circuitos Digitales.**

Los sistemas digitales están contruidos en base a circuitos digitales. Un circuito digital es un conjunto de componentes electrónicos que está diseñado para aceptar y generar señales físicas (normalmente variables físicas como voltajes son las más utilizadas) cuyo valor *se fija* dentro de dos niveles discretos definidos 0 y 1. Esto significa que un circuito digital responderá de la *misma* forma a todas las fluctuaciones de una señal que caigan dentro del rango admitido para el valor discreto 0, sucediendo lo mismo para el caso de los valores incluidos en el rango admitido para el valor discreto 1. Véase la FIG.1.1

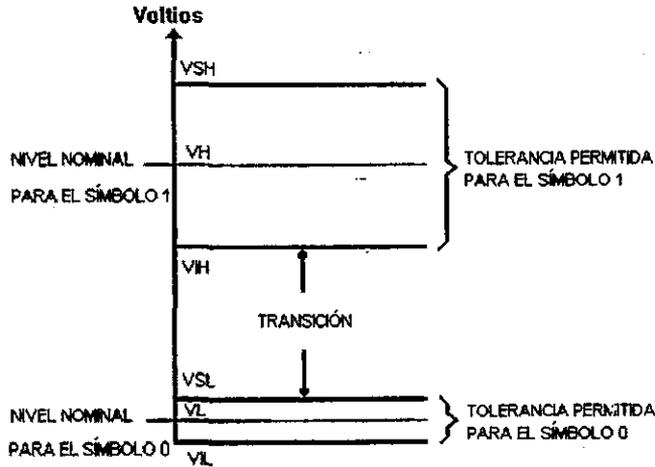


FIG. I.1 Gráfica que muestra las asignaciones de nivel de voltaje en un circuito digital

De la FIG. I.1 podemos observar que para cada símbolo binario se fijan dos niveles de voltaje llamados VL (0) Y VH (1), así como los voltajes que están dentro del intervalo VIL - VSL como el símbolo 0 y los voltajes que se encuentran dentro del intervalo VIH - VSH como el símbolo 1. Los voltajes entre el intervalo VSL - VIH no se utilizan y sólo ocurren durante una *transición* o cambio de nivel en el circuito digital.

La forma en la cual un circuito digital responde a un conjunto de señales binarias es regida por leyes bien definidas llamadas en conjunto *lógica binaria*. La cual se usa para describir matemáticamente el procesamiento de la información binaria y se utiliza para el análisis y el diseño de los sistemas digitales, se enuncia formalmente a través del álgebra de Boole. Los circuitos digitales son conocidos también como *circuitos lógicos*.

#### ELEMENTOS BÁSICOS DEL ÁLGEBRA DE BOOLE.

En 1854 George Boole desarrolló un sistema algebraico para el tratamiento formal de la lógica llamado hoy día *álgebra de Boole*. En 1938 C.E. Shannon demostró que el comportamiento de los circuitos que tratan con señales discretas binarias (circuitos digitales) puede ser descrito con una álgebra de Boole que opera para un conjunto de solo dos elementos (0 y 1; encendido y apagado). El álgebra de Boole de dos valores es una estructura definida por:

1. Un conjunto de dos elementos  $U = \{0,1\}$ . Un elemento de  $U$  puede ser representado por una literal (X, Y, Z) llamada *variable booleana*.
2. Dos operadores binarios  $+$  y  $*$ . Por operador binario entendemos una regla que asigna a cada par de elementos de  $U$  un elemento único de  $U$ .

3. Un conjunto de postulados que deben ser verificados al aplicar los operadores binarios al conjunto U. En 1904 E.V. Huntington formuló los siguientes postulados:

3.1.A. Si X es un elemento de U y Y es un elemento de U, entonces  $X + Y$  también pertenece a U. (Conjunto cerrado con respecto al operador + ).

3.1.B. Si X es un elemento de U y Y es un elemento de U, entonces  $X * Y$  también pertenece a U. (Conjunto cerrado con respecto al operador \* ).

3.2.A. Existencia de un elemento identidad con respecto al operador + designado por 0:

$$X + 0 = X = 0 + X = X$$

3.2.B. Existencia de un elemento identidad con respecto al operador \* designado por 1:

$$X * 1 = X = 1 * X = X$$

3.3.A. Conjunto conmutativo con respecto a + :  $X + Y = Y + X$

3.3.B. Conjunto conmutativo con respecto a \* :  $X * Y = Y * X$

3.4.A. Operación \* distributiva sobre + :  $X * (Y + Z) = (X * Y) + (X * Z)$

3.4.B. Operación + distributiva sobre \* :  $X + (Y * Z) = (X + Y) * (X + Z)$

3.5. Por cada elemento X que pertenece a U, existe un elemento X' perteneciente a U llamado complemento de U tal que:  $X + X' = 1$  y  $X * X' = 0$

3.6. Existen al menos dos elementos X y Y pertenecientes a U tales que  $X \diamond Y$  ( $1 \diamond 0$ ).

4. Un conjunto de teoremas . Existen 6 teoremas básicos:

$$4.1. X + X = X \quad \text{y} \quad X * X = X$$

$$4.2. X + 1 = 1 \quad \text{y} \quad X * 0 = 0$$

$$4.3. (X')' = X \quad \text{(Teorema de Involución)}$$

$$4.4. X + (Y + Z) = (X + Y) + Z \quad X * (Y * Z) = (X * Y) * Z \quad \text{(Teorema Asociativo)}$$

$$4.5. (X + Y)' = X' * Y' \quad (X * Y)' = X' + Y' \quad \text{(Teorema de DeMorgan)}$$

$$4.6. X + (X * Y) = X \quad X * (X + Y) = X \quad \text{(Teorema de Absorción)}$$

5. La propiedad de Dualidad del Álgebra de Boole que establece que las expresiones algebraicas deducidas de los postulados permanecen válidas si se *intercambian* los operadores + y \* y los elementos de identidad (0 y 1).

### Compuertas Lógicas.

La representación formal anterior del álgebra de Boole reconoce tres operaciones lógicas básicas a saber:

1) Adición lógica u operación OR. Su símbolo es el signo más (+):

$$F = X + Y \quad \text{(EC.I.3)}$$

La variable F será 1 cuando cualquiera de las dos variables X y Y sean 1.

La variable F será 0 cuando ambas variables X y Y sea 0.

La variable F será 1 cuando  $X=1$  y  $Y=1$ .

2) Multiplicación lógica u operación AND. Su símbolo es el signo de multiplicación (\*):

$$F = X * Y \quad (\text{EC.I.4})$$

La variable F será 1 cuando ambas variables X y Y sean 1.

La variable F será 0 cuando cualquiera de las variables X y Y sea 0.

1.3.c) Complementación o inversión lógica, llamada también operación NOT. Se aceptan dos símbolos, que son la barra elevada ( ' ) o el tilde ( ' ):

$$F = X' \quad (\text{EC.I.5})$$

La variable F será 1 cuando X = 0.

La variable F será 0 cuando X = 1.

Los circuitos digitales que ejecutan las operaciones lógicas básicas del álgebra de Boole AND, OR y NOT son las llamadas compuertas lógicas y son los circuitos fundamentales de todo sistema digital. Los símbolos ó *diagramas lógicos* utilizados para representar las compuertas lógicas en el diseño de sistemas digitales se muestran en la FIG I.2.

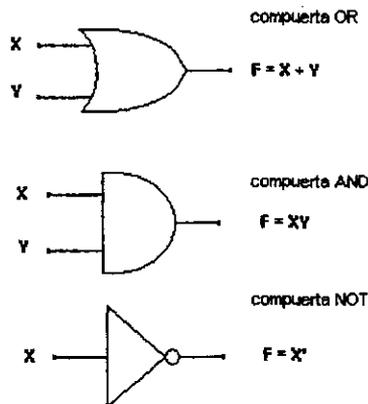


FIG.I.2. Diagramas lógicos de las compuertas básicas

### I.9- Otras operaciones lógicas.

Existen otras operaciones lógicas que pueden derivarse de las operaciones lógicas básicas. Son importantes debido a que se utilizan de manera frecuente en el diseño de sistemas digitales. De hecho algunas de ellas sustituyen a las compuertas básicas y son más importantes en la práctica debido a que son más fáciles de construir con partes electrónicas. La FIG.I.3 muestra las expresiones algebraicas de estas operaciones y los diagramas lógicos utilizados para representarlas.

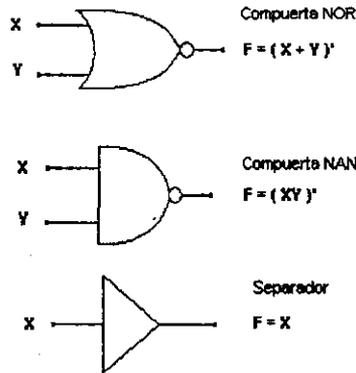


FIG.I.3. Diagramas lógicos de otras operaciones lógicas

**I.10- Expansión a entradas Múltiples.**

Las compuertas lógicas AND, OR, NAND y NOR presentadas tienen dos entradas. Una operación lógica puede expandirse a múltiples entradas (compuertas en cascada) si la operación binaria que representa cumple con el postulado 3 (conmutativo) y el teorema Asociativo del álgebra de Boole. Las compuertas AND y OR cumplen con estas condiciones. Las compuertas NOR y NAND no las cumplen. Para resolver este problema primero puede definirse una OR ó AND de múltiples entradas y luego complementarla (NOR ó NAND respectivamente).

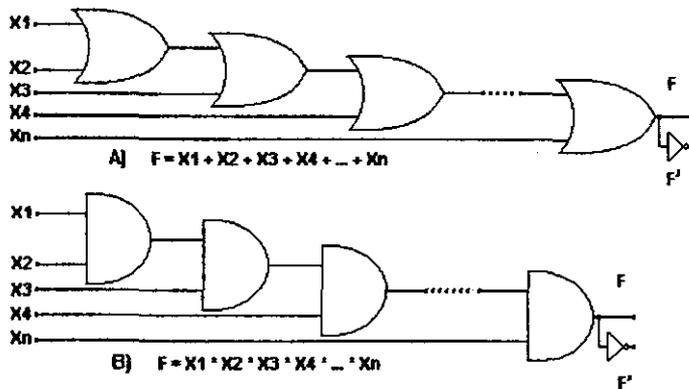


FIG.I.4. Expansión de las funciones A) OR(F), NOR(F') y B) AND(F), NAND(F') a n entradas.

**I.11- Tablas de Verdad.**

Considerando las ecuaciones algebraicas de las operaciones realizadas por las compuertas lógicas, podemos observar que para *cada* combinación de valores de sus variables binarias (X, Y), existe un valor definido de la ecuación F que puede ser 0 ó 1. Estos valores pueden listarse en forma compacta usando las llamadas *tablas de verdad*. Una tabla de verdad es una tabla de todas las combinaciones posibles de las

variables booleanas que muestra la relación entre cada combinación y el valor de la función. Una ecuación que involucra  $N$  variables booleanas, tendrá una tabla de verdad con  $2^N$  filas y mostrará el valor de la operación para cada una de estas combinaciones. En la FIG.1.5 se muestran las tablas de verdad de las compuertas lógicas. Puede observarse que las tablas de verdad de las operaciones de 2 variables tienen  $2^2 = 4$  filas y las de una variable  $2^1 = 2$  filas.

AND	X	Y	F	OR	X	Y	F
	0	0	0		0	0	0
	0	1	0		0	1	1
	1	0	0		1	0	1
	1	1	1		1	1	1

NOT	X	F
	0	1
	1	0

NAND	X	Y	F	NOR	X	Y	F
	0	0	1		0	0	1
	0	1	1		0	1	0
	1	0	1		1	0	0
	1	1	0		1	1	0

Separador	X	F
	0	0
	1	1

FIG.1.5 Tablas de Verdad de las operaciones efectuadas por las compuertas lógicas

### Funciones Booleanas.

Una función de Boole es una expresión algebraica formada por variables booleanas relacionadas mediante operadores +, \*, el operador complemento ('), los paréntesis y el signo igual. Para un valor dado de las variables, existe un valor definido de la función que puede ser 0 ó 1. Las ecuaciones algebraicas de las compuertas AND, OR, NOT, NAND, NOR y el separador son ejemplos de funciones booleanas. Toda función de Boole puede construirse ó ejecutarse mediante las compuertas lógicas básicas o las compuertas NAND y NOR.

Una variable booleana  $X$  puede aparecer en una función de forma "normal" ( $X$ ) o complementada ( $X'$ ). De forma natural podemos identificar la forma normal de la variable con el valor 1 y su complemento como 0. Una función de Boole puede ser expresada algebraicamente a partir de su tabla de verdad, conformando cada combinación de variables que producen un 1 como una operación AND para luego obtener la OR de todas las combinaciones.

La manipulación del álgebra de Boole consiste en encontrar expresiones algebraicas más simples de una función determinada. De la serie de ecuaciones equivalentes se selecciona una de ellas para después ser transformada en un *diagrama lógico* que muestra la interconexión entre compuertas utilizando los símbolos

que se muestran en las FIG.1.2 y FIG.1.3. La elección de una determinada función de Boole para su desarrollo descansa ciertamente en los siguientes criterios:

1. Debe utilizar un número mínimo de compuertas.
2. Debe existir un número mínimo de entradas a una compuerta.
3. Debe existir un número mínimo de interconexiones.
4. Debe limitarse el número de compuertas que pueden conectarse a la salida de otra.

### Retardo de propagación.

Si  $t_0$  representa un instante en el cual ocurre una transición de nivel en las variables de entrada de un circuito digital, entonces  $t_0 + \Delta t$  será el momento en el que una transición en la salida ocurre en respuesta a estos cambios.  $\Delta t$  es el tiempo que tarda un circuito digital en reaccionar a los cambios ocurridos en sus variables de entrada. Este tiempo se llama *retardo de propagación*.

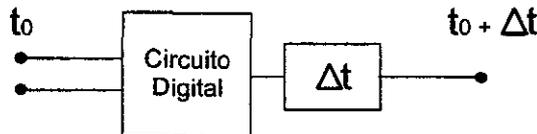


FIG.1.6. Diagrama de un circuito digital donde se introduce un bloque que representa su tiempo de retardo.

### Diagramas de Tiempo.

Es una gráfica de *nivel de señal contra tiempo* que muestra la relación entre los cambios en los niveles de las variables de entrada de un circuito digital y sus efectos en los niveles de sus variables de salida. Si se elabora un diagrama de tiempo en el que no se muestra el *retardo de propagación* del circuito, entonces se habla de un *diagrama de tiempo ideal*. (FIG.1.7)

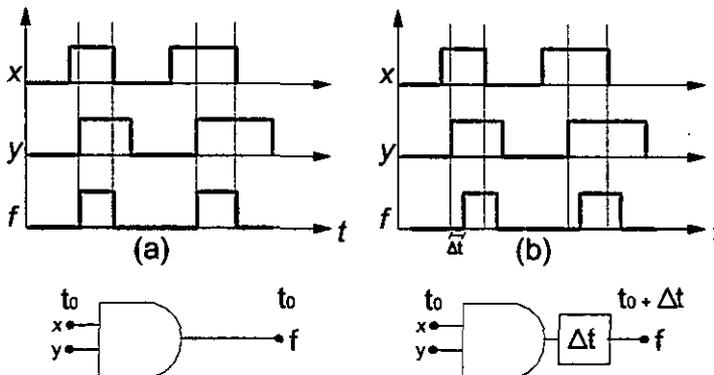


FIG.1.7 Diagramas de tiempo de una compuerta AND. En (a) se muestra el diagrama ideal. Nótese el retraso en la respuesta de la compuerta con tiempo de retardo  $\Delta t$  mostrado en (b). Las líneas verticales sin flechas muestran el momento en el cual la salida de la AND cambia de nivel de forma ideal.

## ELEMENTOS BÁSICOS SOBRE LA LÓGICA COMBINATORIA.

Un circuito combinatorio consiste de variables de entrada, compuertas lógicas que configuran funciones de Boole y variables de salida. Para  $N$  variables de entrada existen  $2^N$  combinaciones posibles de valores de entrada en el circuito. Para cada combinación hemos visto que existe un valor posible de salida. Los circuitos combinatorios pueden considerarse como conjuntos de  $M$  funciones de Boole, cuyas salidas corresponden a  $M$  variables de salida. (FIG.1.7)



FIG.1.7. Diagrama a Bloques de un circuito combinatorio

En los circuitos combinatorios los valores de las salidas en cualquier momento dependen estrictamente sólo de los valores ó condiciones *presentes* en las variables de entrada.

### Configuraciones combinatorias especiales

#### Decodificador

Hemos visto que un código binario de  $N$  bits es capaz de representar hasta  $2^N$  elementos diferentes de información. Un decodificador es una configuración ó circuito combinatorio que coonvierte la información binaria de  $N$  variables de entrada a un máximo de  $2^N$  variables de salida. Si al diseñar un sistema no se utilizan todas las combinaciones posibles de las entradas, se tendrá un decodificador con menos de  $2^N$  variables de salida. Estos circuitos combinatorios se especifican como decodificador de  $N \times M$  donde  $M \leq 2^N$

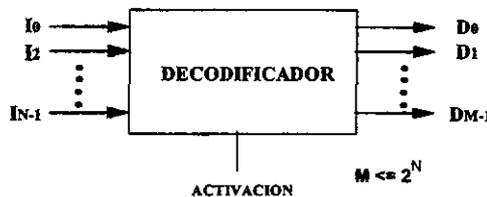


FIG.1.8. Diagrama a bloques de un decodificador

#### Convertidor de Código

Es un circuito combinatorio que asigna a cada combinación de cierto código de entrada, una combinación particular de otro código llamado código de salida. Estas configuraciones son llamadas también decodificadores y cuando se especifican se nombran los códigos de entrada y salida.

#### Demultiplexor

Es un circuito combinatorio que recibe información a través de una variable de entrada y transmite el valor de ésta a una de  $2^N$  variables de salida. La selección de la variable de salida se lleva a cabo a través de  $N$  variables de entrada llamadas *líneas de selección*. Revisando la operación de este circuito, podemos

considerar al demultiplexor como un decodificador con entrada de habilitación ó activación. De hecho, los decodificadores con entrada de activación se especifican como decodificadores/demultiplexores de  $N \times M$ .

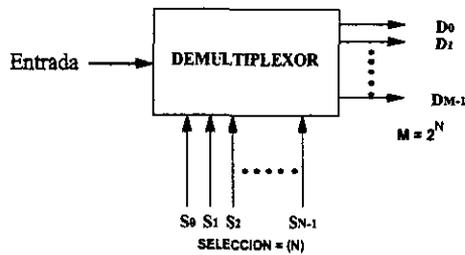


FIG.1.9. Diagrama a bloques de un demultiplexor

### Codificador

Es un circuito combinatorio que produce una operación inversa a la del decodificador. Un codificador tiene  $2^N$  variables de entrada y  $N$  variables de salida. Las salidas generan el código binario correspondiente para cada variable de entrada. Como el circuito genera combinaciones únicas, se asume que sólo una variable de entrada se encuentra activa ( 1 lógico ) en cualquier momento, de otra forma la operación carece de significado. Para asegurar que sólo una variable de entrada es 1 en un momento dado, se establece una prioridad de entrada de forma que la entrada de más alta prioridad se considera activa aunque más de una de las  $2^N$  variables de entrada sean 1. Codificadores con esta propiedad se llaman *Codificadores de prioridad*. Los Codificadores se especifican como de  $M \times N$  donde  $M = 2^p$

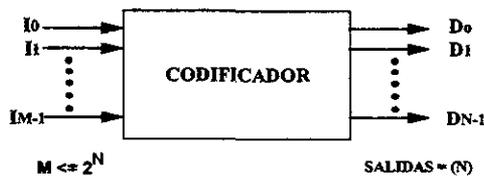


FIG.1.10. Diagrama a bloques de un codificador

### Multiplexor.

Es un circuito combinatorio que selecciona información binaria de una de  $M$  variables de entrada para dirigirla a una sola variable de salida. La selección de variable se realiza a través de otras variables de entrada llamadas líneas de selección. Normalmente existen  $M = 2^N$  variables de entrada y  $N$  líneas de selección.

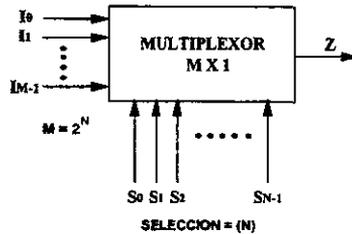


FIG.I.11. Diagrama a bloques de un multiplexor

### ELEMENTOS BÁSICOS SOBRE CIRCUITOS MULTIVIBRADORES.

En una compuerta lógica, el nivel en la salida del circuito depende en todo momento de los niveles en las variables de entrada. Esto significa que en el dominio del tiempo, un valor específico en la salida *permanece* o existe por un periodo de tiempo  $t_0$  igual al tiempo de existencia de los niveles binarios en las entradas que producen dicho valor. Cualquier cambio en las señales de entrada produce *siempre* un cambio en las salidas del circuito.

En los circuitos multivibradores, las salidas no dependen siempre de los niveles en las variables de entrada sino predominantemente de la característica intrínseca del circuito ó de un evento externo llamado de forma genérica *trigger*. El valor de la salida de un circuito multivibrador se denomina *estado*. Atendiendo a la forma en la que subsisten los niveles lógicos en ellos existen tres tipos de circuitos multivibradores: Biestables, Astables y Monoestables.

#### El Multivibrador Biestable y el concepto de Memoria.

Consideremos el bloque mostrado en la FIG.I.12. Éste representa un circuito el cual tiene una variable de entrada con cierto nivel lógico. Consideremos que a este circuito se le puede suministrar un comando o instrucción para *almacenar ó retener* este nivel de entrada y transferirlo a la salida en cualquier momento. Una vez que dicho comando se ha efectuado y el almacenamiento y la transferencia del nivel de entrada a la salida son completados, ningún cambio en la variable de entrada puede alterar la salida ó estado del circuito hasta que el comando es suministrado de nuevo.

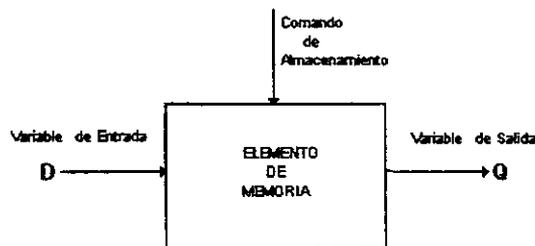


FIG.I.12 Diagrama a bloques de un elemento ó dispositivo de memoria.

De forma general, esta es la forma en la que opera el multivibrador biestable también llamado elemento ó unidad de memoria porque es un medio por el cual un valor binario 0 ó 1 puede ser almacenado o retenido indefinidamente hasta que se suministre la instrucción que permita reemplazar el valor "memorizado" con otro nuevo.

### El flip-flop.

Un elemento de memoria se logra a través de una estructura de compuertas digitales básica llamada *Flip-Flop*. Los flip-flops son celdas binarias capaces de almacenar un bit de información mientras se mantiene energizado el circuito. El flip-flop tiene dos variables de salida, una especifica el valor "normal" y la otra el valor complementado del bit almacenado. La información binaria ingresa a través de una o dos variables de entrada, que a su vez funcionan como instrucciones que afectan el estado del flip-flop.

El diagrama lógico del flip-flop básico construido con compuertas NOR se muestra en la FIG.1.13. El circuito es llamado flip-flop RS. Tiene dos entradas llamadas *Reset* (almacena un 0) y *Set* (almacena un 1). Puede notarse que existe un acoplamiento inter cruzado de la salida de una compuerta a la entrada de otra. Este acoplamiento constituye una *retroalimentación*.

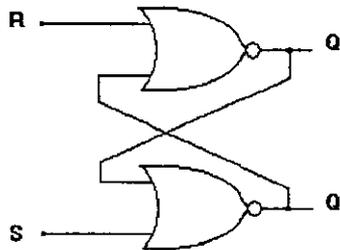


FIG.1.13. Circuito básico del flip-flop

El análisis de la operación del circuito descubre el efecto de memoria de la configuración:

- Sea la *condición inicial*  $R=0$  y  $S=1$ . Como  $S=1$  entonces  $Q'=0$ . Si  $Q'=0$  y  $R=0$  entonces  $Q=1$ .
- Si  $S=0$  después de  $R=0$  y  $S=1$ ,  $Q=1$  y  $Q'=0$ . (memoria)
- Si  $S=1$  después de  $R=S=0$ ,  $Q=1$  y  $Q'=0$  (Instrucción de almacenamiento Set)
- Si  $R=1$  después de  $R=0$  y  $S=1$ , entonces  $Q=0$ . Como  $Q=0$  y  $S=1$  entonces  $Q'=0$ . Este estado es indefinido ya que  $Q'$  es complemento de  $Q$ .
- Si  $R=S=0$  después de  $R=S=1$ , entonces el estado del flip-flop es *indeterminado*, esto es,  $Q=1$  ó  $Q=0$  dependiendo de cual entrada permanece en 1 más tiempo antes de que ocurra  $R=S=0$ .
- Si  $R=1$  después de  $R=S=0$ :  $Q=0$ . Como  $Q=0$  y  $S=0$  entonces  $Q'=1$ . (Instrucción de almacenamiento Reset)
- Si  $R=0$  después de  $R=1$  y  $S=0$  entonces  $Q=0$  y  $Q'=1$  (memoria)
- Si  $S=1$  después de  $R=1$  y  $S=0$ , entonces  $Q'=0$ . Como  $Q'=0$  y  $R=1$ , entonces  $Q=0$ . Este estado es indefinido ya que  $Q'$  es complemento de  $Q$ .

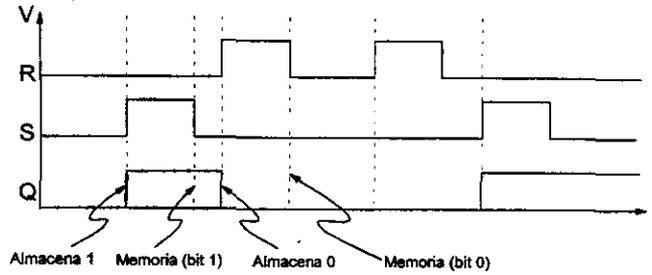


FIG.I.14. Diagrama de tiempo ideal de operación del flip-flop

La capacidad de memoria de un flip-flop es debida al tiempo de retardo de las compuertas que lo forman. Cuando ocurre un cambio en las entradas, las salidas no cambian en forma instantánea. Toma una cantidad finita de tiempo para que la señal se propague desde las entradas a las salidas de las compuertas. Las salidas que subsisten en virtud del retardo pueden actuar como entradas debido a la retroalimentación afectando después de cierto tiempo de nueva cuenta a las salidas. Esta operación lleva al flip-flop a través de una *secuencia en el tiempo* de cambios de nivel en las variables de entrada y de salida. Cuando el flip-flop alcanza un estado estacionario en donde la salida es la misma a pesar de la ocurrencia de cambios en la entrada, se dice que un bit de información ha sido almacenado.

En todo momento el valor normal en Q define el estado del flip-flop. Podemos observar que el circuito tiene dos estados útiles cuando  $Q=1, Q'=0$  y  $Q=0$  y  $Q'=1$ . El estado donde  $Q'=0$  y  $Q=0$  constituye una restricción del circuito y se evita.

Se puede construir la tabla de verdad de la operación del Flip-Flop RS:

S	R	Q	Q'	Comentario
1	0	1	0	(Almacenamiento de un 1)
0	0	1	0	Después de que S=1 y R=0 (memoria)
0	1	0	1	(Almacenamiento de un 0)
0	0	0	1	Después de que S=0 y R=1 (memoria)
1	1	0	0	Después de S=1 y R=0 ó después de S=0 y R=1
0	0	?		Después de que S=1 y R=1 (indeterminado)

#### Multivibrador Monoestable.

Este circuito es llamado también de *emisión simple*. A diferencia de un multivibrador biestable, tiene solamente un estado de salida *estable* que es generalmente  $Q=0$ , donde permanece hasta que es *activado* mediante la *transición de estado* de una variable de entrada (trigger). Al activarse, la salida del circuito cambia al llamado estado *inestable* ( $Q=1$ ) permaneciendo así por un periodo fijo de tiempo (T) que generalmente se identifica con una constante de tiempo de un circuito RC que se conecta al multivibrador de forma externa. Una vez que ha transcurrido el tiempo T la salida del circuito vuelve a su estado estable hasta que sea activada nuevamente. (FIG.I.15).

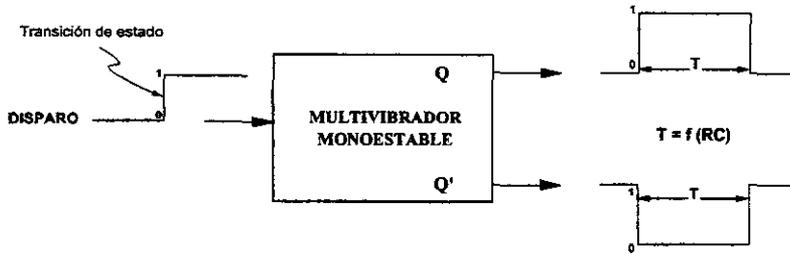


FIG.I.15 Diagrama a bloques de un multivibrador monoestable

Generalmente, el circuito posee una salida complementaria ( $Q'$ ) además de la salida normal ( $Q$ ). Existen dos clases de circuitos monoestables:

#### Circuito Monoestable no Redisparable ó de Emisión Simple no Reactivable.

Después de que este tipo de circuito es activado e inducido a su estado inestable, mientras se encuentre en él no puede ser activado o afectado por transiciones de estado de la variable de entrada hasta que vuelva a su estado estable. En este caso  $T$  no es afectado más que por la constante  $RC$  del circuito.

#### Circuito Monoestable Redisparable ó de Emisión Simple Reactivable.

Después de que este tipo de circuito es activado e inducido a su estado inestable, mientras se encuentre en él podrá ser reactivado o afectado por transiciones de estado de la variable de entrada. De esta forma, la duración del estado inestable se *prolongará* desde el momento de la reactivación hasta por otro periodo de tiempo  $T$ .

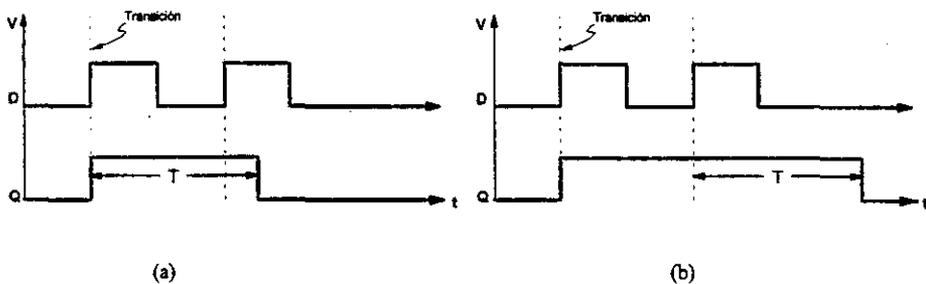


FIG.I.16. Diagrama de tiempo de un monoestable no reactivable (a) y reactivable (b)

#### Multivibrador Astable

Un multivibrador astable posee los dos estados binarios, sin embargo, ninguno de ellos es estable; consecuentemente el circuito estará continuamente *oscilando* de un estado a otro; y todo esto sin ninguna señal de entrada.

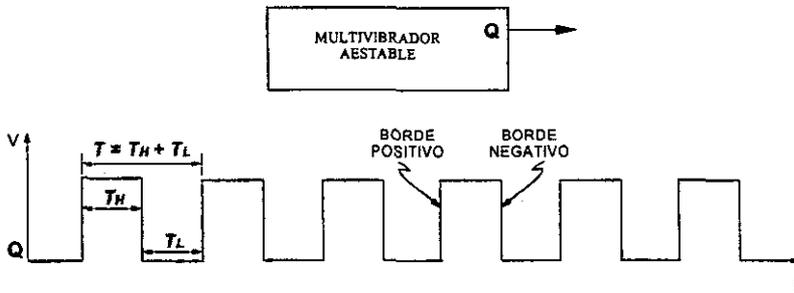


FIG.1.17. Diagrama a bloques y salida obtenida en el tiempo de un multivibrador astable

La oscilación entre el estado 1 y el estado 0 en un multivibrador astable no es un fenómeno caótico con respecto al tiempo sino que se lleva a cabo siguiendo un patrón regular cada cierto periodo de tiempo  $T$ . Esta característica hace que el circuito sea llamado *generador de tiempo* y a la señal de salida *tren de pulsos de reloj* ó *señal de reloj*.

De la FIG.1.17 podemos enumerar las características de una señal de reloj:

- Periodo ( $T$ ). Es el tiempo que tarda en completarse un ciclo llamado también *pulso de reloj* (duración del nivel alto, transición alto a bajo y duración nivel bajo)
- Frecuencia ( $f$ ). Es el número de ciclos ó *pulso de reloj* ocurridos en un segundo. Expresado en forma matemática tenemos:

$$f = 1/T$$

- Periodo alto ( $T_H$ ). Es el tiempo de duración del nivel alto (1) en la salida.
- Periodo bajo ( $T_L$ ). Es el tiempo de duración del nivel bajo (0) en la salida.
- Ciclo de trabajo. Es la razón entre el periodo alto ( $T_H$ ) y el periodo total ( $T$ ). Expresado en forma matemática tenemos:

$$\text{Ciclo de trabajo} = T_H / T = T_H / (T_H + T_L)$$

Frecuentemente se multiplica el ciclo de trabajo por 100 para expresarlo en porcentaje.

- Borde Positivo. Es la transición ó cambio del nivel bajo al nivel alto en la salida.
- Borde Negativo. Es la transición ó cambio del nivel alto al nivel bajo en la salida.

#### Flip-Flop con entrada de reloj.

El circuito Flip-Flop ó multivibrador biestable por si mismo se dice que es un sistema *asíncrono*. Esto significa que su estado puede ser afectado en *cualquier instante de tiempo*. Si consideramos que las variables de entrada de un flip-flop pueden cambiar siguiendo patrones aleatorios entonces el circuito responderá a estos cambios de forma similar en el tiempo tomando en cuenta solamente los retardos de

propagación que exhiben las compuertas que lo forman.

Un flip-flop puede ser modificado en su comportamiento asíncrono si se le añade como entrada una señal de reloj. Se puede hacer que el circuito responda *solamente* a los niveles de sus variables de entrada *presentes en el instante en que sucede una transición de nivel* (sensibilidad al borde positivo ó negativo) de un pulso de reloj. De esta forma, no importa si sus demás entradas tienen un patrón aleatorio de ocurrencia, el flip-flop se comportará de forma rítmica o cíclica, esto es, sólo en instantes marcados por la señal de reloj.

Cuando un flip-flop es sensible a la transición de 0 a 1 del tren de pulsos se dice que se *dispara* en borde positivo y cuando es sensible a la transición de 1 a 0 se dispara en borde negativo. Un flip-flop con reloj es un sistema *síncrono* porque su comportamiento puede definirse a partir del conocimiento de sus señales en instantes *discretos* de tiempo.

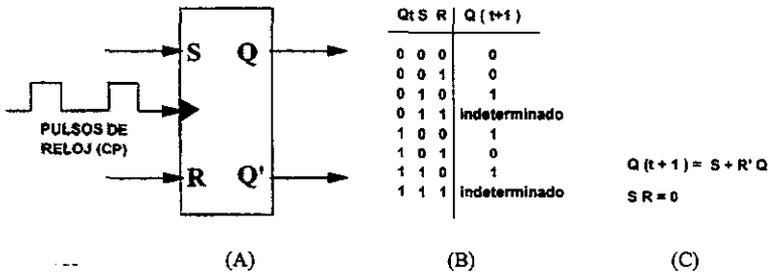


FIG.I.18. Flip-Flop RS síncrono. (A) Símbolo gráfico. (B) Tabla de verdad. (C) Ecuación característica

La FIG.I.18.(A) muestra el símbolo lógico del flip-flop RS con reloj ó flip-flop RS síncrono. El triángulo es un indicador dinámico que simboliza el hecho de que el circuito responde a una transición (bordes) de una señal de reloj. La tabla de verdad se muestra en FIG.I.18.(B). En ella R y S son los valores de las entradas y  $Q_t$  el estado del circuito en un instante discreto específico llamado *estado presente*.  $Q_{(t+1)}$  representa el *estado siguiente* ó estado del flip-flop *después* de la ocurrencia del borde del pulso de reloj.

La función de Boole ó *ecuación característica* del flip-flop que se deriva de la tabla de verdad se muestra en FIG.I.18.(C). En ella el valor del estado siguiente se especifica como una función del estado presente y las entradas R y S. La ecuación  $SR=0$  se incluye como parte de la ecuación característica para especificar que R y S no deben ser 1 en forma simultánea para evitar los estados indeterminados.

Se dice que las salidas Q y Q' de un flip-flop con reloj son *variables síncronas* porque cambian en instantes discretos de tiempo marcados por una señal de reloj. Las entradas R y S son *variables asíncronas* porque pueden cambiar en cualquier instante de tiempo (patrón aleatorios). La señal de reloj puede visualizarse como un comando que indica al flip-flop cuando responder a los cambios en las entradas.

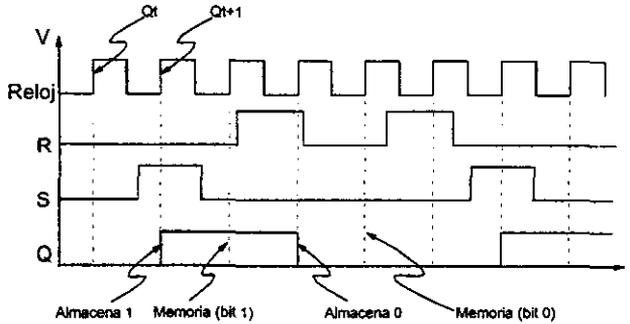


FIG.I.19. Diagrama de tiempo ideal de operación del flip-flop síncrono

### Flip-Flop síncrono con entradas directas.

Un flip-flop con reloj puede tener entradas especiales que tienen un efecto *asíncrono* sobre el estado del circuito, esto es, provocan que el circuito almacene un bit 0 (*despeje directo*) ó un bit 1 (*preajuste directo*) independientemente de la ocurrencia del pulso de reloj y de las condiciones presentes en ese momento en las entradas de *efecto síncrono*. De esta forma, el flip-flop se considera un sistema híbrido que responde tanto de forma síncrona como de forma asíncrona. Sea SD la designación del preajuste directo y CD el despeje directo (FIG.I.20). Suponiendo que las entradas asíncronas del flip-flop se activan cuando son 0. Tenemos:

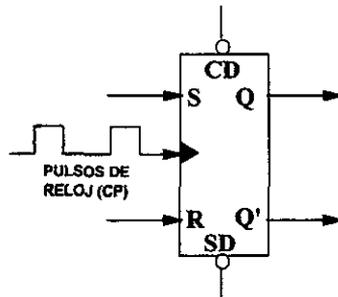


FIG.I.20. Símbolo gráfico del flip-flop de entradas directas

- SD=CD=1: Las entradas asíncronas son inactivas. El flip-flop opera de modo síncrono.
- SD=0,CD=1: El preajuste directo está activado y  $Q=1$  sin importar los valores presentes en R, S y el reloj.
- SD=1,CD=0: El despeje directo está activado y  $Q=0$  sin importar los valores presentes en R, S y el reloj.
- SD=CD=0: Esta condición produce una respuesta indeterminada.

## ELEMENTOS BÁSICOS SOBRE LA LÓGICA SECUENCIAL.

En su concepto más amplio un circuito secuencial ó maquina secuencial no es otra cosa mas que un circuito combinatorio al cual se conectan *elementos de memoria* cuyas salidas forman un camino de *retroalimentación*. (FIG.1.21). Decimos que los elementos de memoria son circuitos capaces de almacenar información binaria dentro de ellos y que dicha información almacenada define ó caracteriza al llamado *estado* del circuito secuencial.

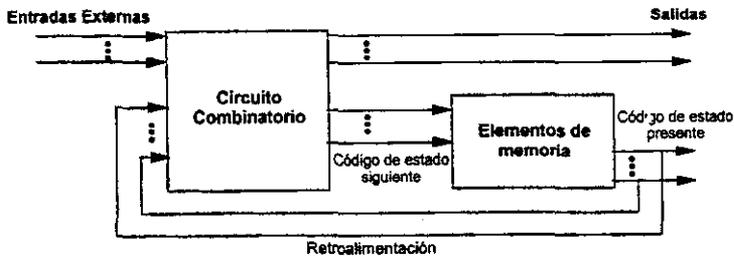


FIG.1.21 Modelo general de un circuito secuencial

El estado es percibido acorde al código presentado directamente de las salidas de los elementos de memoria por lo que otro nombre dado al estado de una maquina secuencial es *estado presente de las variables de estado*.

- El circuito combinatorio toma los valores de las variables de entrada externas y el código de *estado presente* almacenado en los elementos de memoria a través de la retroalimentación y obtiene en base a ellos los niveles de las variables de salida y el código de *estado siguiente* que es un modelo de bits que alimenta a los *elementos de memoria*.
- El código de estado siguiente llegará a ser el código de estado presente cuando los elementos de memoria lo almacenen. Esto ocurre si el código es leído y almacenado de forma directa, de otra forma el modelo de bits es utilizado para generar el verdadero código de estado siguiente. Todo este proceso es definido como un *cambio de estado*.

La configuración de un circuito secuencial muestra que cada nuevo estado es una función de las entradas presentes y la *historia pasada* de esas entradas, reflejada por el *estado* ó información retenida en los elementos de memoria. Con ciertas condiciones de entrada un circuito secuencial se transfiere a un nuevo estado a partir de estados anteriores. Se dice entonces que avanza en el tiempo a través de una *secuencia* de estados.

#### Circuitos secuenciales síncronos

Son circuitos cuyos elementos de memoria son flip-flops síncronos; debido a ello, los cambios de estado ocurren en instantes marcados por la transición positiva ó negativa de una señal de reloj. Esto es, un

estado subsiste por un tiempo igual al periodo de la señal de reloj. Otros nombres dados a estos tipos de circuitos son circuitos secuenciales de reloj ó circuitos secuenciales temporizados. (FIG.1.22)

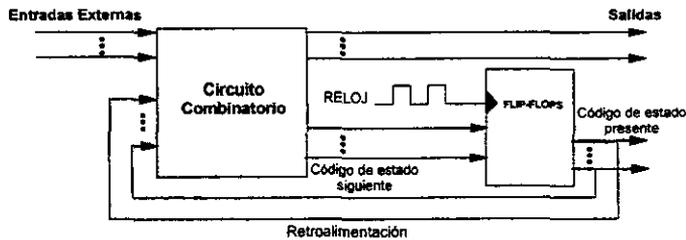


FIG.1.22. Modelo de un circuito secuencial síncrono

### Circuitos secuenciales Asíncronos

Son circuitos cuyos elementos de memoria *no* responden en instantes marcados por señales de reloj. Tales elementos pueden ser flip-flops sin reloj (asíncronos) ó de forma más general circuitos combinatorios con retroalimentación directa (un flip-flop asíncrono no es más que un circuito combinatorio con retroalimentación). Los cambios de estado ocurren en instantes marcados por transiciones de las señales de entrada. Esto es, un estado subsiste por un tiempo igual al retardo de propagación de los circuitos entre los extremos del lazo de retroalimentación. (FIG.1.23)

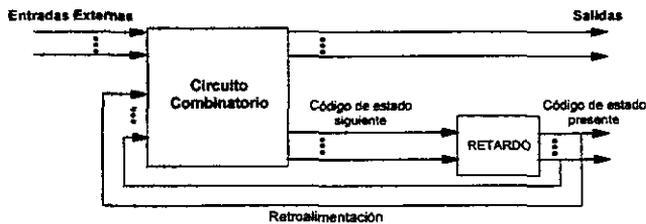


FIG.1.23. Modelo de un circuito secuencial asíncrono. En el diagrama, el bloque de retardo se refiere al retardo de propagación de los componentes del circuito combinatorio.

### Circuitos secuenciales síncronos con entradas de efecto asíncrono.

En un circuito secuencial temporizado, el estado de los flip-flops con reloj puede ser afectado de forma asíncrona ó independiente de la ocurrencia de pulsos de reloj si estos poseen *entradas directas*. La lógica combinatoria puede construirse de tal forma que los valores binarios de entradas externas específicas actúan sobre las entradas de efecto asíncrono. El circuito secuencial de reloj con flip-flops de entradas directas puede verse como un circuito híbrido cuyo estado se afectará tanto de forma síncrona como de forma asíncrona.

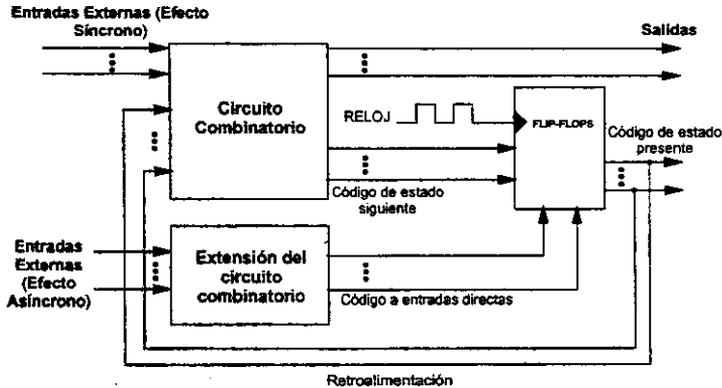


FIG.1.24. Modelo de un circuito secuencial síncrono con entradas de efecto asíncrono

### Configuraciones especiales de lógica secuencial

#### Registros

Un registro es un conjunto de flip-flops síncronos que almacenan información binaria en asociación con una red combinatoria que controla la forma en la que dicha información se transfiere al registro. Las variables de interés en el caso de este tipo de circuito secuencial son aquellas que salen directamente de los elementos de memoria. Cada flip-flop puede almacenar un bit de información. Un registro con  $N$  flip-flops se dice que tiene la capacidad de almacenamiento de cualquier información binaria que pueda representarse con  $N$  bits.

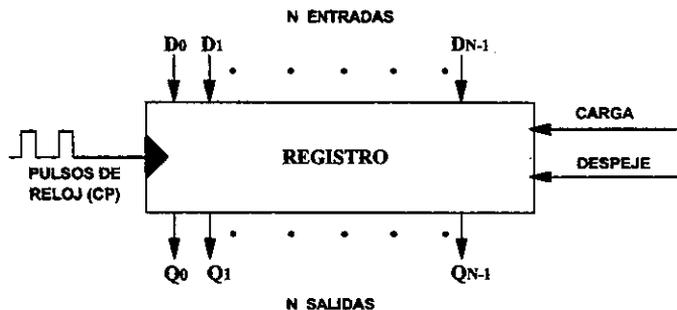


FIG.1.25. Diagrama a bloques de un registro

En FIG.1.25 se observa que un registro cuenta con  $N$  entradas para introducir de forma simultánea los  $N$  bits a ser almacenados. Tiene además dos entradas separadas llamadas *terminales de control* para realizar las siguientes operaciones básicas:

- La *carga*, que consiste en una transferencia del código binario de las  $N$  líneas de entrada a los  $N$  flip-flops. La transferencia de información puede realizarse de forma síncrona ó asíncrona. Si se define una operación de carga con la condición  $CARGA = 1$ , en la forma síncrona se tendrá  $Q_0=D_0$ ,  $Q_1=D_1$ ,

$Q_2=D_2, \dots, Q_{N-1}=D_{N-1}$  con la llegada de un pulso de reloj. En la forma asíncrona, la transferencia ocurrirá una vez transcurrido el tiempo de retardo de propagación.

- El *despeje*, que consiste en llevar a todos los flip-flops del registro a cero, es decir  $Q_0=0, Q_1=0, Q_2=0, \dots, Q_{N-1}=0$ . Esta operación también se conoce como *puesta a cero*. La operación de despeje también puede realizarse de forma síncrona ó asíncrona.

### Registro Contador.

Es un registro que pasa a través de una secuencia *preestablecida* de estados bajo la aplicación de pulsos de reloj. Dichos pulsos son llamados *pulsos de conteo*. La secuencia de estados puede ser cualquiera, aunque las más usadas son la cuenta binaria y la cuenta en código BCD.

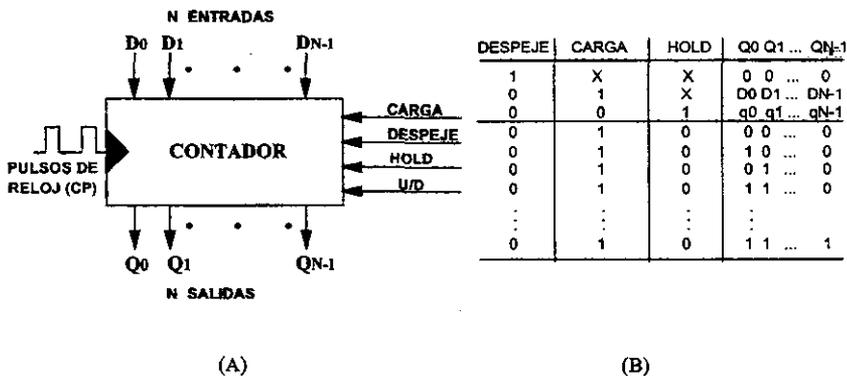


FIG.1.26 (A) Diagrama a bloques de un contador. (B) Tabla de Verdad donde se muestra una secuencia binaria de conteo si U/D esta activo para una cuenta ascendente.

Un contador de  $N$  flip-flops puede seguir cualquier secuencia de  $m$  valores tomados de  $2^N$  posibles. Cuando un contador llega al último valor de su secuencia regresa en el siguiente pulso de reloj al primer valor. Un contador que sigue una cuenta binaria es llamado contador binario. Este puede contar desde 0 hasta  $2^N-1$ . En FIG.1.26 se observa que los contadores pueden poseer terminales de control adicionales que realizan las siguiente operaciones:

- **HOLD (retener)** que consiste en la retención de un valor particular de la cuenta en los flip-flops a pesar de la ocurrencia de los pulsos de reloj ó de conteo. Si se define una retención con la condición  $HOLD = 1$  durante cierto tiempo  $t_L$  se tendrá que  $Q_0=q_0, Q_1=q_1, Q_2=q_2, \dots, Q_{N-1}=q_{N-1}$  para todos los instantes marcados por la señal de reloj dentro del periodo  $t_L$ . Las variables  $q_0, q_1, q_2, \dots, q_{N-1}$  representan los valores de  $Q_0, Q_1, Q_2, \dots, Q_{N-1}$  anteriores a la ocurrencia del pulso de reloj.
- **U/D (UP/DOWN)**. Indica al contador si debe realizar un conteo ascendente ó un conteo descendente. Si se define un conteo ascendente con la condición  $U/D = 1$  la secuencia se realiza partiendo del primer valor al último. Si se determina un conteo descendente con  $U/D=0$  la secuencia se realiza partiendo del último

valor al primero.

**Registro de desplazamiento.**

Un registro que es capaz de *recorrer ó desplazar* su información binaria ya sea a la derecha o a la izquierda se denomina registro de desplazamiento o de corrimiento. Este desplazamiento de la información se realiza un bit por cada pulso de reloj.

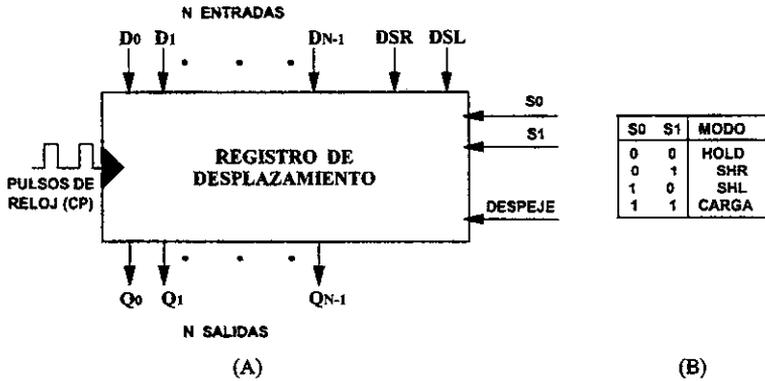


FIG.1.27. (A) Diagrama a bloques de un registro de corrimiento. (B) Tabla de los Modos de operación

La FIG.1.27 muestra que un registro de corrimiento tiene dos líneas DSR y DSL llamadas *entradas seriales*. Las entradas seriales sirven para introducir valores a los flip-flops de los extremos ( $Q_0, Q_{N-1}$ ) durante los corrimientos. Las entradas de control  $S_0$  y  $S_1$  seleccionan el modo de operación del registro. En adición a los modos de sostén (HOLD) Y CARGA se definen las siguientes funciones.

- Shift-Right, SHR. (Corrimiento a la derecha). Consiste en el desplazamiento a la derecha de los bits a partir del menos significativo ( $Q_0$ ). La secuencia general de estados con cada pulso de reloj es:

DSR	$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	...	$Q_{N-3}$	$Q_{N-2}$	$Q_{N-1}$
$dsr_0$	$q_0$	$q_1$	$q_2$	$q_3$	...	$q_{N-3}$	$q_{N-2}$	$q_{N-1}$
$dsr_1$	$dsr_0$	$q_0$	$q_1$	$q_2$	...	$q_{N-4}$	$q_{N-3}$	$q_{N-2}$
$dsr_2$	$dsr_1$	$dsr_0$	$q_0$	$q_1$	...	$q_{N-5}$	$q_{N-4}$	$q_{N-3}$
$dsr_3$	$dsr_2$	$dsr_1$	$dsr_0$	$q_0$	...	$q_{N-6}$	$q_{N-5}$	$q_{N-4}$
$dsr_4$	$dsr_3$	$dsr_2$	$dsr_1$	$dsr_0$	...	$q_{N-7}$	$q_{N-6}$	$q_{N-5}$
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
$dsr_{n-3}$	$dsr_{n-4}$	$dsr_{n-5}$	$dsr_{n-6}$	$dsr_{n-7}$	...	$q_0$	$q_1$	$q_2$
$dsr_{n-2}$	$dsr_{n-3}$	$dsr_{n-4}$	$dsr_{n-5}$	$dsr_{n-6}$	...	$dsr_0$	$q_0$	$q_1$
$dsr_{n-1}$	$dsr_{n-2}$	$dsr_{n-3}$	$dsr_{n-4}$	$dsr_{n-5}$	...	$dsr_1$	$dsr_0$	$q_0$
$dsr_n$	$dsr_{n-1}$	$dsr_{n-2}$	$dsr_{n-3}$	$dsr_{n-4}$	...	$dsr_2$	$dsr_1$	$dsr_0$

en donde las variables  $q_0, q_1, q_2, \dots, q_{N-1}$  y  $dsr_k$  (con  $k = 0$  a  $n$ ) representan valores en  $Q_i$  y  $Q_0, Q_1, Q_2, \dots, Q_{N-1}$  y DSR respectivamente representan valores en  $Q_{i+1}$ .

- Shift-Left, SHL. (Corrimiento a la izquierda). Consiste en el desplazamiento a la izquierda de los bits a partir del más significativo ( $Q_{N-1}$ ). La secuencia general de estados con cada pulso de reloj es:

$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	...	$Q_{N-3}$	$Q_{N-2}$	$Q_{N-1}$	DSL
$q_0$	$q_1$	$q_2$	$q_3$	...	$q_{N-3}$	$q_{N-2}$	$q_{N-1}$	$dsl_0$
$q_1$	$q_2$	$q_3$	$q_4$	...	$q_{N-2}$	$q_{N-1}$	$dsl_0$	$dsl_1$
$q_2$	$q_3$	$q_4$	$q_5$	...	$q_{N-1}$	$dsl_1$	$dsl_1$	$dsl_2$
$q_3$	$q_4$	$q_5$	$q_6$	...	$dsl_1$	$dsl_1$	$dsl_2$	$dsl_3$
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
$q_{N-4}$	$q_{N-3}$	$q_{N-2}$	$q_{N-1}$	...	$dsl_{n-7}$	$dsl_{n-6}$	$dsl_{n-5}$	$dsl_{n-4}$
$q_{N-3}$	$q_{N-2}$	$q_{N-1}$	$dsl_0$	...	$dsl_{n-6}$	$dsl_{n-5}$	$dsl_{n-4}$	$dsl_{n-3}$
$q_{N-2}$	$q_{N-1}$	$dsl_0$	$dsl_1$	...	$dsl_{n-5}$	$dsl_{n-4}$	$dsl_{n-3}$	$dsl_{n-2}$
$q_{N-1}$	$dsl_0$	$dsl_1$	$dsl_2$	...	$dsl_{n-4}$	$dsl_{n-3}$	$dsl_{n-2}$	$dsl_{n-1}$
$dsl_0$	$dsl_1$	$dsl_2$	$dsl_3$	...	$dsl_{n-3}$	$dsl_{n-2}$	$dsl_{n-1}$	$dsl_n$

donde las variables  $q_0, q_1, q_2, \dots, q_{N-1}$  y  $dsl_k$  (con  $k = 0$  a  $n$ ) representan valores en  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_{N-1}$  y DSL respectivamente representan valores en  $Q_{t+1}$ .

Al referirse a un registro de desplazamiento, un pulso de reloj se denomina *tiempo de bit* y al tiempo necesario para desplazar los  $N$  bits de un registro se le llama *tiempo de duración de una palabra binaria*.

### Memoria de acceso Aleatorio

De forma conceptual un *registro de memoria* es un conjunto de flip-flops que se utiliza sólo para almacenar de forma temporal información binaria. Una memoria es una colección ó conjunto de registros de memoria en asociación con los circuitos necesarios para transferir información hacia adentro y hacia fuera de dichos registros. Cada registro de  $M$  flip-flops puede almacenar hasta  $M$  bits llamados en conjunto *palabra de memoria*. (FIG.1.28)

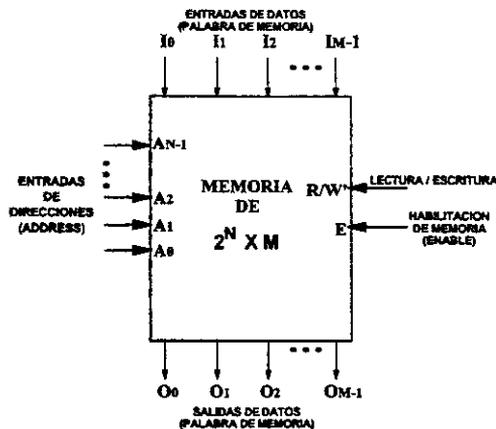


FIG.1.28. Diagrama a bloques de una memoria con entradas y salidas separadas

Una transferencia de información desde el exterior hacia el registro de memoria se llama *operación de escritura*, mientras que una transferencia de información desde el registro de memoria hacia el exterior se llama *operación de lectura*. Una memoria utiliza las siguientes entradas para comunicarse:

- **Entradas de dirección** llamadas también en conjunto *registro de direcciones (address)*. Este registro sirve para seleccionar el registro de memoria ó palabra sobre el cual se va a realizar una transferencia de información. Cada registro de memoria tiene una dirección única. Un registro de direcciones de  $N$  bits puede seleccionar ó direccionar hasta  $2^N$  registros de memoria.
- **Entradas de Datos**. Este conjunto de líneas sirve para transferir información hacia el registro de memoria seleccionado por el registro de direcciones.
- **Salidas de Datos**. Este conjunto de líneas sirve para transferir la información contenida en el registro de memoria seleccionado por el registro de direcciones hacia el exterior.
- **Una señal de control de lectura/escritura ( $R/W^*$ )** que especifica la operación que se ha de realizar con el registro de memoria seleccionado por el registro de direcciones.
- **Una señal de habilitación de memoria (Enable)** que determina si la memoria responde ó no a las señales de direccionamiento (ADDRESS) y de control de lectura/escritura ( $R/W^*$ )

Una operación de lectura consiste de los siguientes pasos en secuencia:

1. Especificar la dirección de un registro de memoria determinado.(ADDRESS)
2. Activar la entrada de control ( $R/W^*$ ) para la operación de *lectura*.

Una operación de escritura consta de los siguientes pasos en secuencia.

1. Especificar la dirección de un registro de memoria determinado.(ADDRESS)
2. Especificar los bits a las entradas de datos ( $I_0, I_1, I_2, \dots, I_{M-1}$ )
3. Activar la entrada de control ( $R/W^*$ ) para la operación de *escritura*.

Se llama *tiempo de ciclo de memoria* a la cantidad de tiempo necesaria para que la memoria realice una operación de escritura ó lectura y después regrese a su estado original lista para ejecutar la siguiente operación. Se llama *tiempo de acceso* a la cantidad de tiempo que se requiere para realizar una operación de lectura. Una *memoria de acceso aleatorio* es aquella en la cual la localización física de un registro de memoria no tiene efecto sobre el tiempo que tarda en leer de ese registro ó bien escribir en él. El tiempo de acceso es el mismo para cualquier dirección específica.

El modelo de memoria de la FIG.I.28 tiene separadas las líneas de entrada ( $I_0, I_1, I_2, \dots, I_{M-1}$ ) de las líneas de salida ( $Q_0, Q_1, Q_2, \dots, Q_{M-1}$ ). Otro modelo de memoria propone la utilización de líneas únicas que funcionan como entradas de datos durante una operación de escritura y como salidas de datos durante una operación de lectura. (FIG.I.29).

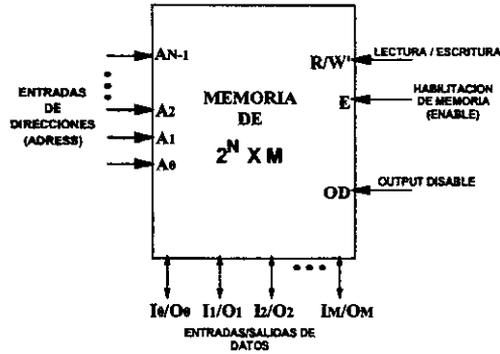


FIG.1.29. Memoria que utiliza las mismas líneas para leer e introducir palabras.

En este tipo de configuración una entrada de control adicional llamada *output disable* (OD) se utiliza para deshabilitar las líneas de datos como salidas cuando se realice una operación de escritura. Si se define OD activa cuando es igual a 1 se tiene:

OD=0, R/W'=1: Habilita Salidas. Se realiza una operación de lectura

OD=1, R/W'=0: Deshabilita Salidas. Se realiza una operación de escritura.

---

# **CAPÍTULO II**

**PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DEL TIEMPO DE REACCIÓN**

---

**ESTIMULACIÓN Y PERCEPCIÓN DEL ESTÍMULO.**

Un ser vivo puede recibir estimulación efectiva del medio ambiente que lo rodea, a través de múltiples formas de energía presentes en dicho ambiente (electromagnética, térmica, química y mecánica). En su momento, su organismo puede tomar "conciencia" de esta estimulación y reaccionar a dicho estímulo.

Para poder percibir un estímulo, un organismo requiere de estructuras y mecanismos sensorreceptores. En casi todos los animales multicelulares la exigencia de interacción con su medio ha conducido a la evolución de células y unidades receptoras especializadas, estas células tienen como característica el generar actividad bioeléctrica como respuesta a un estímulo. La especialización de las estructuras sensoriales, generalmente conlleva un aumento en la información que se puede percibir de su medio ambiente y conforme crece la escala de las demandas funcionales, se incrementa también la necesidad de mejorar la percepción y con ella la capacidad de ejercer distinciones sensoriales más delicadas, para su supervivencia.

En el ser humano las fibras nerviosas se encargan de conducir los impulsos eléctricos a los tejidos que son de diferentes tipos, a través del sistema nervioso central (SNC), así como entre las diversas partes del mismo. A los impulsos que llegan al SNC se les ha denominado *aférentes* ó *sensitivos*, y los que salen del SNC han recibido el nombre de *eferentes* ó *motores*, y dado que casi todos los nervios tienen tanto fibras aferentes como eferentes se les puede considerar como mixtos.

Se les ha denominado *receptores* a las estructuras que se encargan de recibir estímulos, y *uniones neuroefectoras* y *efectores* a las que se encargan de producir respuestas. Los *receptores* son terminaciones nerviosas aferentes relacionadas con sentidos tales como la vista, el oído, el gusto, el tacto y las sensaciones cutáneas. Las *uniones neuroefectoras* son asociaciones especializadas de fibras eferentes (fibras nerviosas-efectores). Los *efectores* son las estructuras que se encargan de ejecutar las respuestas motoras, estas estructuras son las fibras musculares <sup>[14]</sup>.

Se le llama "*latencia sensorial de decisión*" al tiempo que se tarda en alcanzar la decisión de hacer efectiva una respuesta.

Se le llama "*latencia residual*" a la suma de los retardos introducidos por los sistemas aferente y motor, la cual es independiente de la latencia de decisión para producir una respuesta <sup>[16]</sup>.

*Umbral sensorial absoluto.* Teóricamente existe un nivel de energía del estímulo tal que éste apenas es perceptible (FIG.II.1.A); por debajo de este nivel el estímulo no es detectado y por sobre este nivel el estímulo se detecta el 100 % de las veces que se presenta. Las gráficas signoides obtenidas experimentalmente en el laboratorio (FIG. II.1.B) indican sin embargo que entre mayor es la energía del estímulo, es más probable que sea percibido. No existe un valor mínimo de energía absoluto para que el estímulo sea detectado, por ello se toma como el valor del umbral absoluto, el mínimo de energía del estímulo para que el sujeto reporte su presencia el 50 % de las veces.

*Umbral diferencial.* Es la diferencia mínima que es posible de detectar entre dos estímulos. Dos estímulos de la misma intensidad, presentados uno tras otro se percibirán como iguales. Si se aumenta gradualmente la intensidad de uno de ellos, llegará el momento en que el sujeto podrá juzgar una diferencia entre ambos estímulos en la mitad de los ensayos realizados <sup>[16]</sup>.

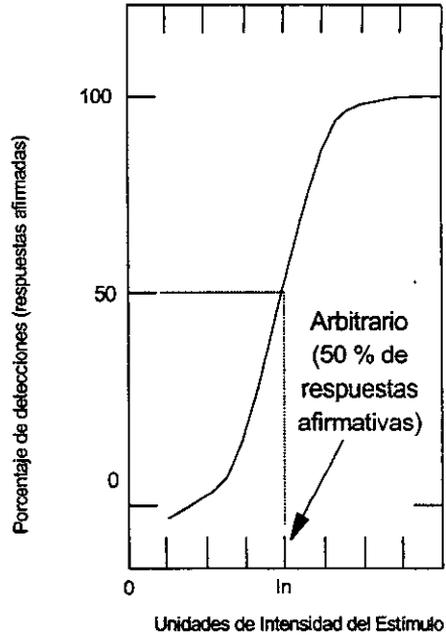
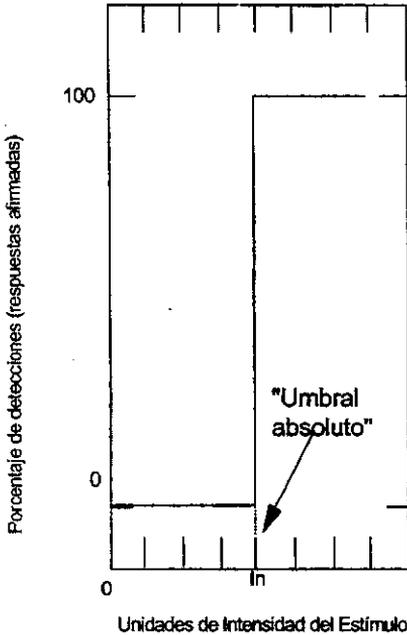


FIG. II.1.A Curva hipotética de Intensidad vs. Valor absoluto, a menos de  $I_n$  unidades no se detecta ningún estímulo, pero arriba de  $I_n$  unidades el estímulo siempre es detectado. FIG. II.1.B Curva de función empírica de umbral, porcentaje de detecciones vs. Intensidad del estímulo, el umbral absoluto es la intensidad en la que el estímulo se detecta el 50% de las pruebas.

(H.R. Schiffman, "La Percepción Sensorial", Ed. 1993, México.)

Para el objetivo de nuestro trabajo es pertinente revisar algunos conceptos relativos al sistema auditivo, la visión y la sensación cutánea.

### BREVE INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS VISUAL, AUDITIVO Y CUTÁNEO

#### El sistema auditivo.

El sonido es una serie de variaciones de presión en un medio gaseoso, líquido o sólido que tienen su origen en un cuerpo vibratorio, dichas vibraciones se desplazan en forma de onda dentro del medio. El tipo de onda sonora más sencilla es aquella que produce cambios de presión en forma de onda sinusoidal. La velocidad del sonido se calcula midiendo el tiempo necesario para que una compresión se mueva a una distancia conocida. Esta velocidad varía con las características del medio transmisor. A 20°C la velocidad del sonido en el aire es de 340 m/s aumentando generalmente 60 centímetros por segundo por cada grado centígrado que se eleva la temperatura.

**Amplitud.-** Se le llama amplitud al grado de desplazamiento de las partículas vibratorias en cualquier dirección a partir de la posición de descanso ó punto medio de la onda (FIG.II.2). La amplitud es una función

de la fuerza aplicada a la fuente que emite el sonido por lo que puede decirse que su medida fundamental es la variación en la presión. La presión se considera en términos de fuerza por unidad de área; la presión del sonido se mide en dinas por centímetro cuadrado ( $\text{dinas/cm}^2$ ), o más recientemente en newton por metro cuadrado ( $\text{N/m}^2$ ), el cual equivale a  $10,000 \text{ dinas/m}^2$ .

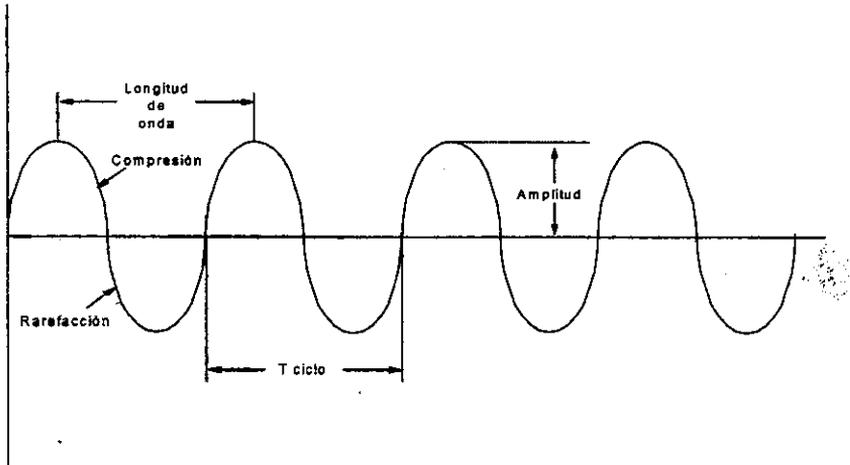


FIG. II.2. Representación de una señal sinusoidal donde se muestran las compresiones y rarefacciones. La frecuencia es el número de ciclos (cambios de presión) en un segundo. La amplitud del sonido es la altura de la onda. (H. R. Schiffman "La Percepción Sensorial" Ed. 1993, México.)

Se ha podido determinar que el oído es sensible a una amplia escala de presiones (la variabilidad de sensibilidad desde el sonido más fuerte hasta el más débil en el humano es del orden de los 100 mil millones a uno), por lo que se emplea una escala logarítmica que comprime esta inmensa variedad de valores posibles entre valores de 0 a 160 aproximadamente, esta escala logarítmica de presiones se ha llamado escala de decibeles (dB). Un decibel es definido como la décima parte de un bel, el cual a su vez se define como el logaritmo común de la razón entre dos entidades o energías, un decibel es entonces diez veces el logaritmo de la razón de dos energías.

Los decibeles también se usan para expresar la razón de dos presiones que están relacionadas por la ley de los cuadrados esto es, la intensidad o energía de un sonido es proporcional al cuadrado de la presión). Las fórmulas de decibeles para la presión son:

$$N_{\text{db}} = 10 \log_{10} P_1^2 / P_2^2 \quad \text{o bien} \quad N_{\text{db}} = 20 \log_{10} P_1 / P_2$$

donde  $N_{\text{db}}$  es el número de decibeles,  $P_1$  es la presión del sonido que se debe medir y  $P_2$  es una presión de referencia normal,  $0.0002 \text{ dinas/cm}^2$ , que ha sido llamada "nivel de presión del sonido" (NPS), la cual es la presión mínima necesaria para que un ser humano promedio pueda escuchar un tono con una frecuencia de 1,000 Hertz. Usándose en la escala de decibeles es tomada como el origen, siendo equivalente a la referencia 60 dB (FIG. II.3).

**Frecuencia.**- Se le llama así al número de ciclos o cambios de presión completados en un segundo, la frecuencia se mide en unidades denominadas Hertz (Hz), y la sensación que produce al que escucha recibe el nombre de "tono". La distancia lineal entre dos crestas o compresiones, es conocida como "longitud de onda", la cual es inversamente proporcional a la frecuencia esto es:

$$C = \lambda f$$

donde  $C$  es la velocidad del sonido,  $\lambda$  es la longitud de onda y  $f$  es la frecuencia. Mientras mayor es la frecuencia más cambios de presión ocurren en un tiempo dado y la distancia es menor entre sus nodos dando lugar a una longitud de onda más corta. Estudios realizados demuestran que a 3,000 Hz el oído humano tiene una sensibilidad máxima, dicha sensibilidad empeora progresivamente conforme la frecuencia disminuye o se incrementa [16].

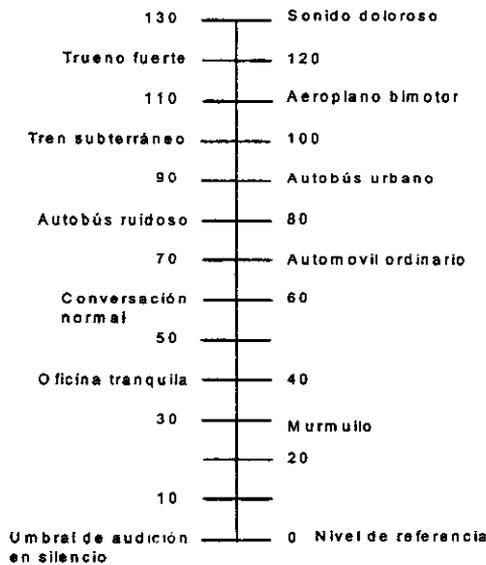


FIG. II.3. Niveles de Presión Sonora en decibelios (NPS) para varios sonidos comunes. (H.R. Schiffman, "La Percepción Sensorial" Ed. 1993, México).

#### Breve descripción del sistema auditivo.

Se divide en tres etapas (FIG.II.4):

El *oído externo*, compuesto por la oreja o aurícula, el canal auditivo externo y el tímpano. La aurícula funciona para recabar y encauzar las vibraciones del aire en el canal auditivo externo. El canal auditivo actúa amplificando la presión del sonido por vibraciones inducidas, especialmente para frecuencias sonoras de aproximadamente 3000 Hz. El tímpano es una membrana delgada que vibra en respuesta a las ondas de presión del sonido, esto es, convierte las vibraciones de sonido en movimiento mecánico.

El *oído medio* está compuesto por tres huesillos llamados martillo, yunque y estribo, los cuales recogen las vibraciones del tímpano y las transportan hacia la ventana oval. La función general del oído

medio es mejorar la efectividad de las ondas sonoras además de proteger al oído interno de excesivos cambios de presión (sonidos intensos). Un conducto denominado trompa de eustaquio conecta a la cámara del oído medio con la cavidad bucal posterior, permitiendo que la presión del exterior se iguale con la presión del aire del oído medio.

El *oído interno* se compone de una estructura denominada cóclea o caracol. Dentro de la cóclea existen estructuras sensoriales especializadas, nervios y tejido auxiliar que convierten las vibraciones en impulsos nerviosos.

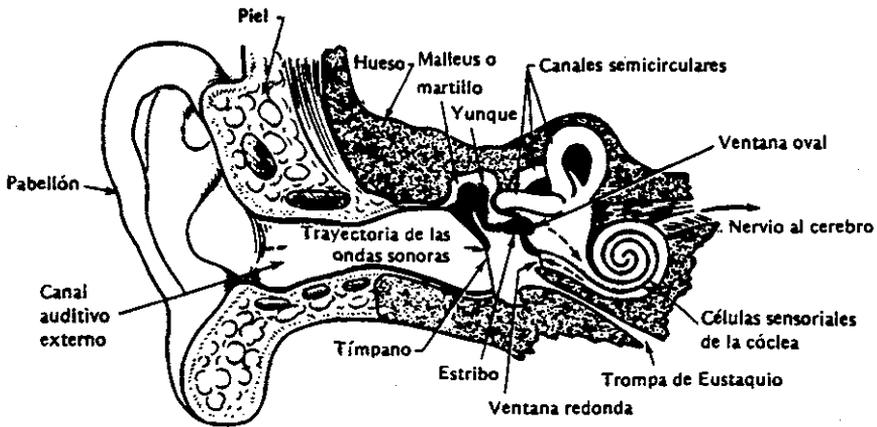


FIG. II.4 Diagrama que muestra la estructura del oído humano. (H. R. Schiffman, "La Percepción Sensorial", Ed. 1993, México).

#### El oído y el cerebro.

Los oídos no funcionan independientemente uno del otro, después de salir del *oído interno*, las fibras del nervio auditivo establecen conexiones en diversas estaciones retransmisoras antes de llegar al cerebro. Algunas fibras no solo se conectan con otras estructuras, sino que permanecen del mismo lado e interactúan con otras fibras provenientes del oído opuesto; sin embargo, aproximadamente el 60% de las fibras cruzan hacia el lado opuesto. Así, cada oído tiene una mejor representación en el hemisferio cerebral opuesto (FIG. II.5), por ello un sonido percibido en un lado del cuerpo trae como resultado una mayor actividad cortical en el lado opuesto.

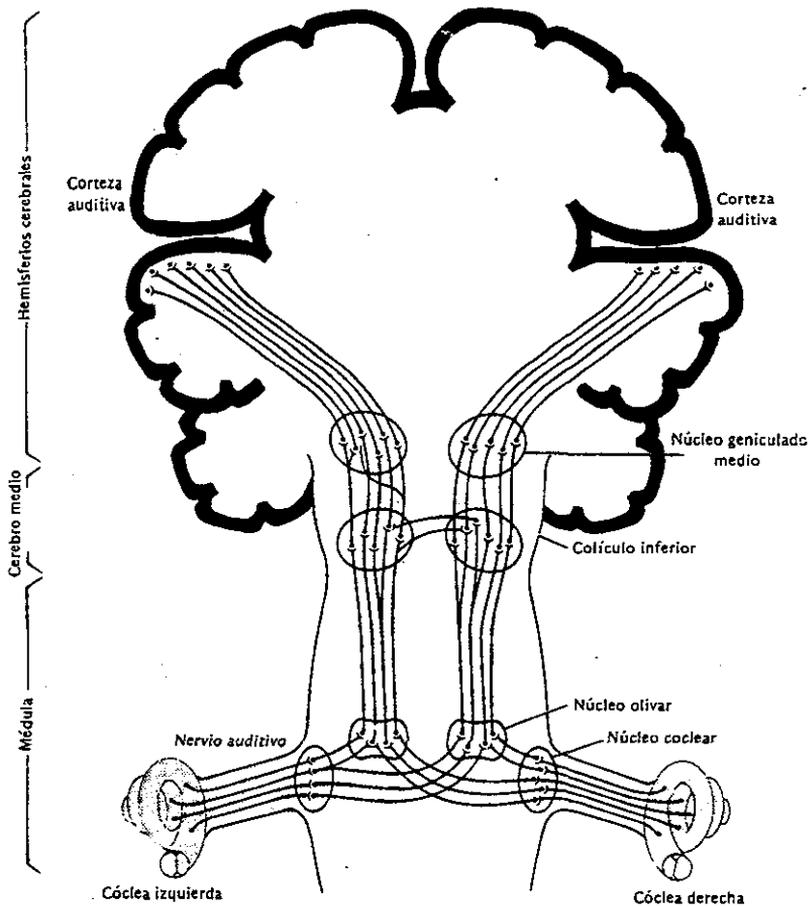


FIG. II.5 Diagrama semiesquemático que muestra la trayectoria de conducción de la estimulación auditiva desde la cóclea de cada oído hasta la corteza cerebral. Se puede apreciar que en el núcleo olivar (que funciona como una "estación retransmisora"), algunas de las fibras nerviosas de los núcleos cocleares de ambos oídos convergen en el mismo nervio, pudiendo así transmitir mensajes desde ambos oídos. Se puede apreciar que es mayor el número de trayectorias nerviosas que se originan en una cóclea y cruzan al hemisferio cerebral que las que permanecen en el mismo lado. (H. R. Schiffman, "La Percepción Sensorial", Ed. 1993, México.)

Cada hemisferio predomina en la percepción de diversas características del sonido, a esta característica o distinción funcional se le llama "asimetría cerebral". Así pues se ha determinado que el hemisferio izquierdo del cerebro predomina en la percepción del lenguaje y el procesamiento analítico en general, en tanto que el hemisferio derecho predomina en la percepción y en el procesamiento de sonidos no verbales.

El oído sirve para localizar sonidos en el espacio, para ello deben percibirse tanto la dirección y la distancia relativa de los emisores de sonido. Con un solo oído, un sujeto puede evaluar la distancia relativa de un objeto, pero para poder percibir la dirección de un sonido (ubicarlo) se requiere emplear los dos oídos. Pruebas realizadas con sujetos invidentes demostraron que muchos sujetos que carecen de visión pueden percibir los obstáculos en base a la información sonora que reciben <sup>[16]</sup>.

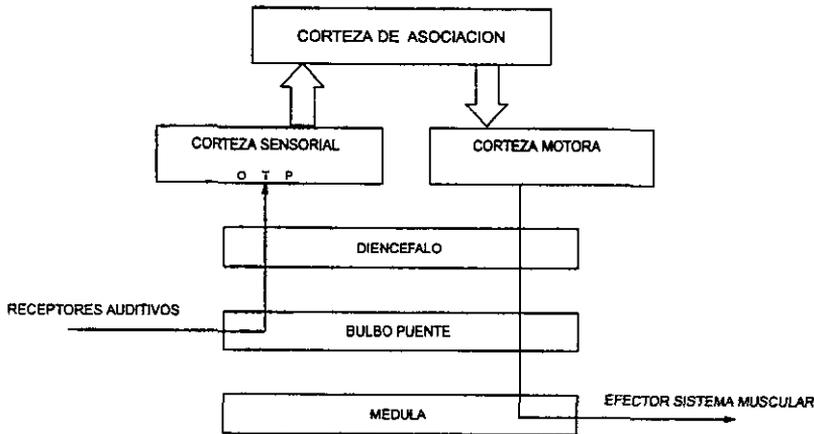


FIG. II.6. Estimulo auditivo. Camino por el que atraviesa la información hasta obtener una respuesta por medio del sistema muscular. ("Neurofisiología: Diseño y Aplicación de un Sistema de Registro de Tiempo de Reacción", Revista de Ingeniería Biomédica, No.8, 1987).

### El sistema cutáneo

La piel humana es muy importante, ya que protege al organismo de la radiación solar en el rango del espectro infrarrojo y en el ultravioleta, regula la presión y dirección del flujo sanguíneo, retiene fluidos corporales vitales y está considerada como el órgano sensorial de mayor tamaño del cual dispone el ser humano.

Está formada por varias capas (epidermis, dermis y tejido subcutáneo) y tiene incrustaciones nerviosas, las cuales pueden estimularse de diversas formas (estimulación cutánea) para medir en forma experimental las cuatro posibles sensaciones: calor, frío, presión o tacto y dolor. No se han encontrado fibras anatómicamente distintas que originen una determinada respuesta de la piel, pero si se ha determinado la existencia de zonas más sensibles a cada uno de los diferentes tipos de estímulos. Para el propósito de este trabajo, las sensaciones de calor, frío y dolor se encuentran fuera de contexto, por lo que solo veremos los aspectos fundamentales del tacto (ó presión).

### Estímulo táctil.

Este tipo de estímulo se presenta mediante un cambio en la forma de la piel ó deformación mecánica

lo que implica diferencias de presión. En este sentido se sabe que la presión distribuida uniformemente ó las gradaciones continuas de la presión no son deformantes y por tanto, no son mecánicamente estimulantes. En general, las discontinuidades son los eventos estimulantes importantes para el organismo, no las gradaciones continuas. Existe una mayor sensibilidad a la presión en las zonas corporales que tienen funciones de exploración y guía, como las manos, los dedos y la lengua, en tanto que el tronco, los brazos y las piernas son menos sensibles, todo esto debido a que tienen menos contacto con el ambiente; así también la sensibilidad sufre una variación por la fuerza del estímulo aplicado. En pruebas realizadas experimentalmente se ha detectado que en general las mujeres parecen más sensibles al estímulo táctil que los hombres.

Es posible la localización del punto de presión en la región cutánea donde se aplica el estímulo, esta habilidad de percepción varía en forma considerable dependiendo de la zona corporal estimulada, siendo por regla general más exacta la localización del punto mientras más móviles sean las regiones estimuladas (por ejemplo las manos, los pies y la boca).

Un estímulo no requiere de una intensidad tal que sea doloroso para poder ser percibido, en pruebas fisiológicas se ha encontrado que la aplicación de pulsos con poca intensidad y una duración limitada, producen señales locales, las cuales sólo cuando alcanzan un valor crítico denominado "potencial de umbral" o también "umbral de membrana" dan origen a una respuesta, conocida como "respuesta detonante"; el tiempo que transcurre entre la aplicación del estímulo y la aparición de la respuesta detonante es conocido como "latencia" [13].

La percepción táctil (llamada también somato-sensorial), puede ser muy compleja, debido a la gran dispersión y al entrecruzamiento de las ramas terminales de las ramas sensoriales. Así pues un toque sobre la piel, enviará señales a la médula espinal a través de muchas vías, en la zona donde estas terminen se presentará un foco de actividad correspondiente al punto donde se haya recibido la excitación, y una zona de menor actividad alrededor del mismo.

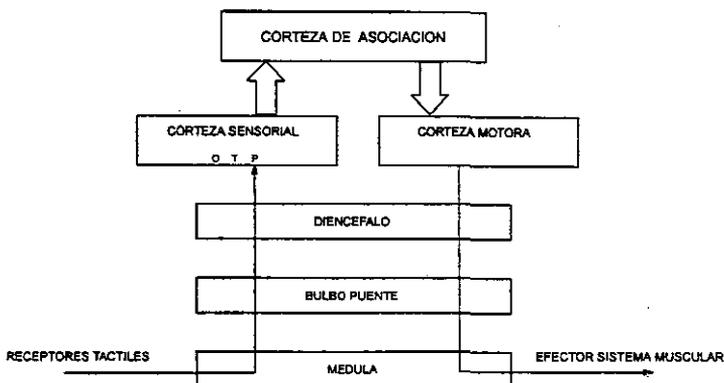


FIG. II.7. Estimulo somato-sensorial. Camino por el que atraviesa la información hasta obtener una respuesta por medio del sistema muscular. ("Neurofisiología: Diseño y Aplicación de un Sistema de Registro de Tiempo de Reacción", Revista de Ingeniería Biomédica, No.8, 1987).

## El sistema visual.

Se ha comprobado que al igual que en otras formas de vida, el sentido de la vista es el más importante para el ser humano, es el más estudiado y del que se tiene mayor información, veamos algunos aspectos relevantes.

### Breve descripción del sistema visual.

En forma general el ojo o globo ocular (FIG.II.8) es una estructura esférica que está compuesta por una cobertura externa de color blanco llamada esclerótica que se prolonga hacia la parte anterior en una membrana translúcida llamada córnea. Los rayos de luz que penetran por la córnea son refractados por su superficie. Sujeta a la esclerótica se encuentra la coroides rica en vasos sanguíneos la cual absorbe gran parte de la luz que entra en el ojo evitando que las reflexiones pudieran hacer borrosa la imagen. Tras de la córnea, el iris controla la cantidad de luz que entra en el ojo a través de la pupila. A continuación se encuentra una estructura llamada *crystalino* que cambia su curvatura según la distancia del objeto enfocado. La luz pasa a través del cristalino a la retina, la cual se halla en el fondo del globo ocular. La retina es un tejido que consta de células nerviosas interconectadas y fotorreceptores que son sensibles a la energía luminosa conocidos como conos y bastones. El estímulo luminoso es transformado aquí en impulsos nerviosos que pasan a través del nervio óptico hacia el cerebro.

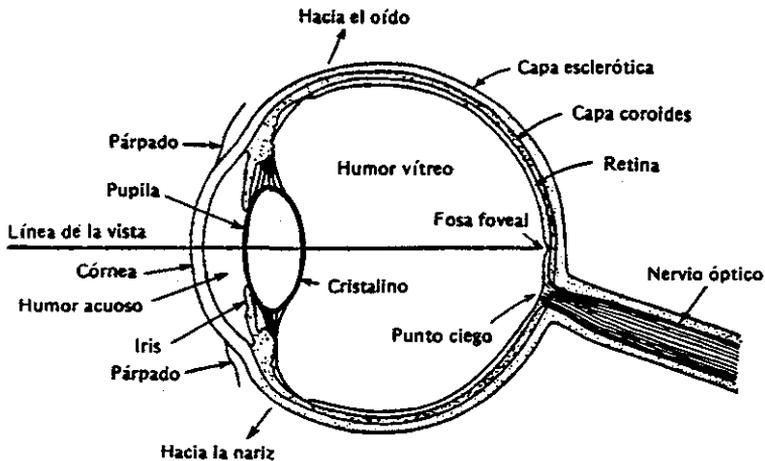


FIG. II.8 Estructura general del ojo humano. (H.R. Schiffman, "La Percepción Sensorial", Ed. 1993, México).

### Característica del estímulo visual.

La luz está compuesta de partículas denominadas *fotones* que son "paquetes" de energía que se propagan como una onda continua, pudiéndose describir en términos de la intensidad y de la longitud de onda. La intensidad depende de la energía radiante presente siendo su cualidad sensorial la *brillantez* en tanto que el color y matiz se relacionan con la longitud de onda. El espectro electromagnético visible al ojo humano es una estrecha banda del espectro electromagnético cuyos valores abarcan un rango de 380 a 760 nanómetros (1 nanómetro =  $10^{-9}$  m y se denota como *nm*), esto representa solo 1/70 del rango total existente del espectro.

Se dice que la luz puede servir como fuente de información cuando se encuentra con algo que interfiere en su camino, pero para poder comprender y utilizar esta información, se requiere convertir la información visual en impulsos eléctricos que puedan ser interpretados por el cerebro de una manera adecuada; para realizar esa función, el ojo cuenta con mecanismos que regulan la entrada de la luz (el iris) así como elementos fotorreceptores (bastones y conos) y fibras nerviosas (localizadas en la retina) que se conectan a otras fibras nerviosas que van hacia la corteza visual. La intensidad física de la energía radiante que incide sobre una superficie se llama *iluminancia*. La iluminancia es expresada en lux (lx). Un lux se define como un lumen por metro cuadrado ( $\text{Lm}/\text{m}^2$ ) de modo que  $1\text{lux}=1\text{Lm}/\text{m}^2$ . El lumen a su vez se define como el flujo radiado por una fuente puntual de una candela a través de un ángulo sólido de un steradián.

### El ojo y el cerebro.

al igual que en el sentido del oído, en el sistema óptico también se manifiesta una comunicación contralateral, los axones de las células ganglionares se agrupan y salen del ojo a través del punto ciego, convergiendo en el quiasma óptico, en el que las fibras de las mitades internas (llamadas también "nasales") de cada retina se entrecruzan, mientras que las que se encuentran fuera de las mitades "temporales" no lo hacen. Posteriormente a este entrecruzamiento parcial, estas se conectan en diversas estructuras, las cuales funcionan como estaciones retransmisoras, la más importante es el llamado "núcleo geniculado lateral" (el cual se encuentra en el tálamo) pasando al lóbulo occipital donde se encuentra el área visual. Algunas fibras se conectan en el mesencéfalo en áreas de la visión, las cuales intervienen en los reflejos oculares.

En ambos ojos, la luz del campo visual derecho estimula las mitades izquierdas de cada retina, en tanto que la luz percibida en el campo visual izquierdo estimula las mitades de la derecha de cada ojo, la estimulación de las mitades del lado derecho de cada retina activan el lóbulo occipital derecho, y la estimulación de las mitades del lado izquierdo de cada retina activan el lóbulo occipital izquierdo, así el campo visual derecho se representa en el hemisferio izquierdo y el campo visual izquierdo se representa en el hemisferio derecho (FIG. II.9) proyectándose solo la mitad del campo visual, en cada hemisferio cerebral.

### Umbral para la visión.

Según estudios realizados por Hecht, Shaler y Pirenne (1941, 1942), se ha encontrado que el umbral para la visión es de 54 a 128 quanta (quanta es el nivel de luz equivalente a un fotón =  $h\nu$ , donde  $h$  es la constante de Plank que vale  $6.63 \times 10^{-27}$  ergs y  $\nu$  es la frecuencia en Hertz) de los cuales solo se absorbe un

rango efectivo de 5 a 14 quanta por los bastones. Esto equivale a un umbral absoluto de 0.000001 mL. Un solo quanta de energía radiante debe ser capaz de estimular un bastón, y para que una sensación visual se inicie en el nivel de umbral se requiere por tanto que de 5 a 14 bastones sean estimulados.

El umbral absoluto depende mucho de la longitud de onda de la luz, ya que no existe una igualdad de sensibilidad para todas las áreas del espectro, así como del estado de adaptación en que el ojo se encuentre antes de definir el umbral. Una adaptación a la oscuridad produce un nivel bajo de umbral (sensibilidad máxima) en tanto que una adaptación a la luz (que es el proceso inverso), produce un nivel elevado.

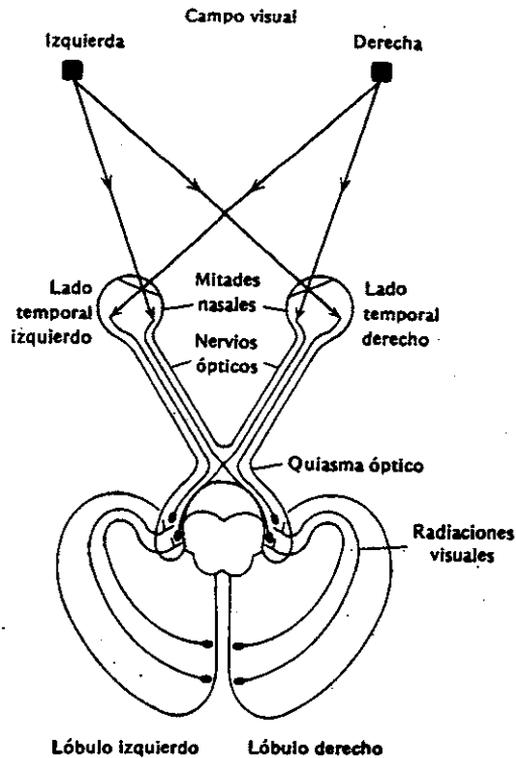


FIG. II.9 En esta figura simplificada del sistema visual humano, se muestra la proyección de los campos visuales a través del sistema. La mitad derecha del campo visual se proyecta sobre la mitad derecha de cada retina. (H. R. Schiffman, "La Percepción Sensorial", Ed. 1993, México).

### Percepción del color.

La capacidad de percepción del color se encuentra en muchas especies, primordialmente en los primates, y en grado menor en otras especies, la visión a color incrementa los potenciales de supervivencia de una especie y en el caso del ser humano adquiere características estéticas e incluso psicológicas.

El principal componente de un color es la longitud de onda de la luz. El espectro visible esta delimitado por los rayos infrarrojos y los rayos ultravioleta. Entre estos se encuentran de mayor a menor longitud de onda los colores rojo, amarillo, verde, azul y violeta. Para poder apreciar una sensación de color se requiere de tres dimensiones psicológicas, que son *matiz*, *brillantez* ó *intensidad* y *saturación*. El matiz corresponde al color en sí y sufre variaciones con los cambios en la longitud de onda, la brillantez varía según la intensidad física, la saturación es la pureza física de la luz (la pureza de la longitud de onda, llamada también pureza colorimétrica), la adición de otras longitudes de onda reduce dicha pureza y causa una pérdida en la saturación del color.

La percepción del color es una propiedad psicobiológica del sistema nervioso, no una propiedad inherente de la luz, las combinaciones de longitudes de onda solamente afectan la percepción del observador generando colores con matices diferentes, pero en sí las luces mismas no son afectadas por las combinaciones.

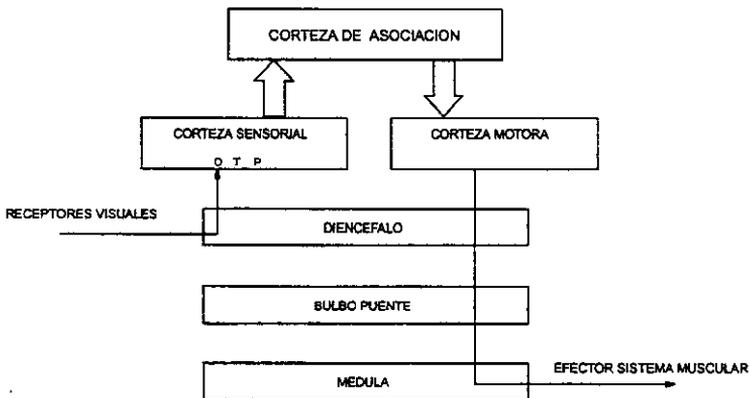


FIG. II.10. Estimulo visual. Camino por el que atraviesa la información hasta obtener una respuesta por medio del sistema muscular. ("Neurofisiología. Diseño y Aplicación de un Sistema de Registro de Tiempo de Reacción", Revista de Ingeniería Biomédica, No. 8, 1987).

### EL TIEMPO DE REACCIÓN (T.R.)

#### Definición

El tiempo de reacción llamado también atraso de la reacción ó latencia, se ha definido en forma general como la *demora mínima de una respuesta voluntaria determinada ante un estímulo dado*. Sin embargo, Chocholle hace notar que "..... esta definición parece ser insuficiente; difícilmente puede aplicarse a gran parte de los tiempos de reacción, por ejemplo, a los tiempos de reacción a un estímulo que corresponde

al dominio mental o incluso a una respuesta precedente. No pone el acento en el hecho de que la respuesta así elegida no es casi nunca una respuesta normal, natural al estímulo. No permite distinguir entre las reacciones empleadas en el método y los movimientos más complejos como, por ejemplo, los movimientos de persecución. Por último, a veces se podría tener algún escrúpulo en aplicarla a las diversas reacciones generadas por un condicionamiento o un aprendizaje - presentes en todos los niños o en los animales - para estudiar la velocidad de su respuesta. Entonces, la definición podría completarse del siguiente modo: es *la demora más breve entre una respuesta simple que presenta los caracteres de una respuesta habitualmente voluntaria y una incitación inicial que, casi siempre, adquiere la forma de un estímulo, estando ambas determinadas y fijadas por el operador y sin que existan entre ellas relaciones naturales algunas.*" [18].

La FIG. II.11 muestra de forma conceptual las vías de conducción del estímulo durante el proceso de estimulación-respuesta, mientras que la FIG. II.12 muestra la interrelación funcional entre múltiples vías receptoras de integración cortical-efector

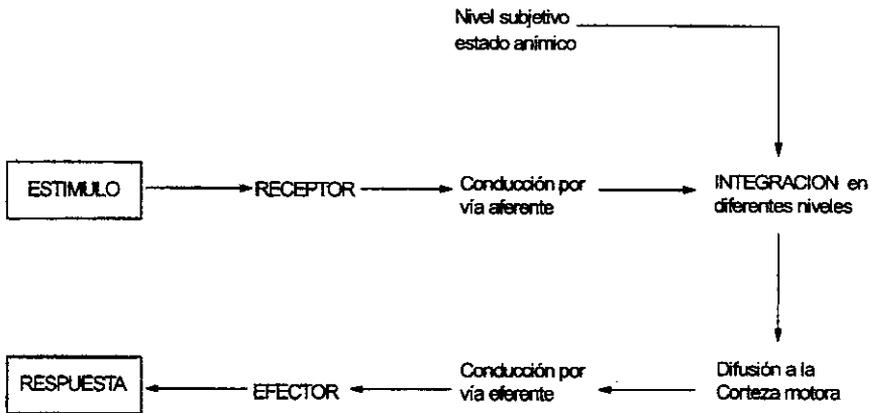


FIG. II.11. Vías de conducción del estímulo, desde la percepción del estímulo hasta la ejecución de una respuesta. ("Neurofisiología. Diseño y Aplicación de un Sistema de Registro de Tiempo de Reacción", Revista de Ingeniería Biomédica, No. 8, 1987).

#### Descripción general del método de obtención del T.R.

René Chocholle, uno de los autores más reconocidos en lo referente al tema, especifica que los instrumentos que sean empleados para generar y aplicar los estímulos no involucren al mismo tiempo otras modalidades sensoriales que puedan provocar distracción en el sujeto además de que deben ser fáciles de controlar y de aplicar. Así mismo es necesario minimizar en lo posible el retraso que se puede presentar entre la emisión del estímulo y la estimulación efectiva, ó en su defecto mantenerlo constante.

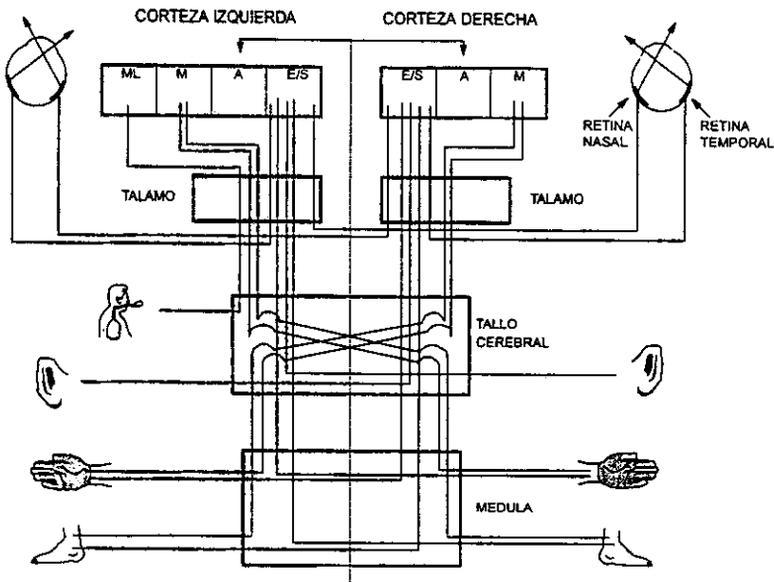


FIG. II.12. Interrelación funcional entre múltiples vías receptoras de integración cortical-efector con entrada-salida a nivel médula y tallo para ambas mitades del cuerpo. ML = área motora del lenguaje; M = área motora; A = área de asociación; E/S = Entrada/Salida. (Revista de Ingeniería Biomédica, Vol. 13 (2), 1992).

Un claro ejemplo de estimulación simultánea lo representa un generador de estímulos visuales que al ser encendido provoca un ruido. Generalmente la respuesta al ruido es más rápida, por lo tanto una reacción al ruido sería lo más natural, aún en el caso de que se instruyera al sujeto a responder solamente a la luz. El proceso de discriminación que esto implica seguramente producirá un incremento en el T.R. El retraso entre la emisión del estímulo y la estimulación efectiva queda ilustrado con el caso de una fuente de sonido que se encuentra a una distancia de un metro de un sujeto. Sabemos que el sonido viaja a 340 m/s en el aire, por lo que el tiempo entre la emisión del sonido y la llegada a este al sistema auditivo tendrá un atraso de  $1/340$  s ó aproximadamente 3 milésimas de segundo. Este valor se verá reflejado en los T.R.s obtenidos.

Para realizar pruebas de medición del T.R. se requiere de:

- 1.- Un dispositivo que registre los tiempos de reacción y cuya lectura pueda hacerse de forma directa (Medidor de intervalos de tiempo).
- 2.- Dispositivos de generación del estímulo, los cuales disparen al mismo tiempo el dispositivo de registro de tiempo.
- 3.- Dispositivos de respuesta accionados por el sujeto examinado, los cuales al accionarse detienen al

dispositivo de registro de tiempo. Estos dispositivos naturalmente varían con el tipo de respuesta; casi siempre se trata de una respuesta manual. La condición primordial es que sean fáciles de operar, esto es, no deben obstaculizar el movimiento ejercido como respuesta.

Por cuanto se refiere a las técnicas empleadas para realizar las mediciones, se recomienda que en la medida de lo posible se aisle al sujeto de cualquier perturbación externa, procurando se relaje lo más posible entre las mediciones, y durante las mismas se procure obtener el nivel mas alto posible de atención del sujeto, para lograr esto se recomienda que previo al estímulo se presente una señal de advertencia que no pueda perturbar al sujeto, dicha señal debe ser de naturaleza diferente al estímulo a ser aplicado.

Para poder tener una certeza mayor con respecto a las respuestas a una prueba determinada, se requiere realizar muchas mediciones, considerando que entre mayor sea el número de las mismas, los resultados serán más confiables. Las mediciones sin embargo deben estar separadas entre sí por intervalos de tiempo que no sean muy breves ni muy largos (Chocholle recomienda intervalos de 10 a 30 segundos), se recomienda intercalar en cada cierto número de pruebas, "trampas" y/o alterar al azar el intervalo entre los estímulos sucesivos, así como entre la señal de advertencia y el estímulo (esto para evitar que el sujeto se habitúe a la prueba, haciéndose la respuesta automática o bien pudiendo anticiparse al estímulo), la ventaja de esto es que se rompe con la monotonía de las mediciones, lo cual a la larga puede provocar un incremento en los tiempos de reacción. Se recomienda que las sesiones de trabajo duren 15 o excepcionalmente 30 minutos.

Las series de ensayos pueden ocasionar fatiga a los sujetos, en particular cuando no están entrenados. La fatiga provoca que durante el desarrollo de las pruebas, el valor de los T.R.s se prolonguen incluso en demasia. Por tanto deben detenerse a tiempo las mediciones y en todo caso, no tomar en cuenta los valores demasiado altos obtenidos al final de la serie.

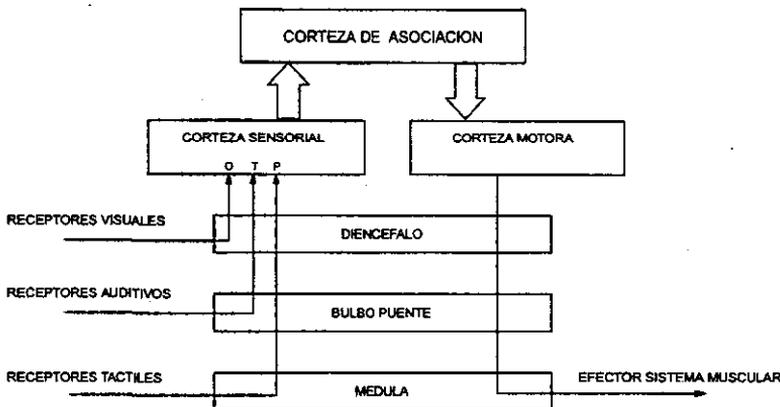


FIG. II.13 Gráfica de resumen que muestra el camino por el que atraviesa la información hasta obtener una respuesta por medio del sistema muscular. ("Neurofisiología: Diseño y Aplicación de un Sistema de Registro de Tiempo de Reacción", Revista de Ingeniería Biomédica, No. 8, 1987)

Las herramientas estadísticas para el manejo de información son el promedio de las mediciones que se toma como el valor del T.R. y la desviación estándar como el valor de la dispersión. Dado que la información cuyos valores sean muy disparatados puede alterar el promedio del T.R., lo que suele hacerse es considerarlos como errores de anticipación o de deficiencia de las respuestas dadas y por lo tanto no incluirlos en los resultados que se promedian.

El método general para realizar la medición del Tiempo de Reacción (FIG. II.14) puede resumirse en 5 pasos básicos:

- 1.- El examinador procede a seleccionar el tipo de estímulo a ser empleado.
- 2.- Se determinan las características ó parámetros de dicho estímulo.
- 3.- El examinador dispara en forma simultánea el estímulo y el dispositivo de medición de tiempo.
- 4.- El sujeto responde al estímulo deteniendo la cuenta del medidor de tiempo, obteniéndose el valor de tiempo de reacción a este estímulo.
- 5.- Registro por parte del examinador de la información obtenida para su posterior procesamiento.

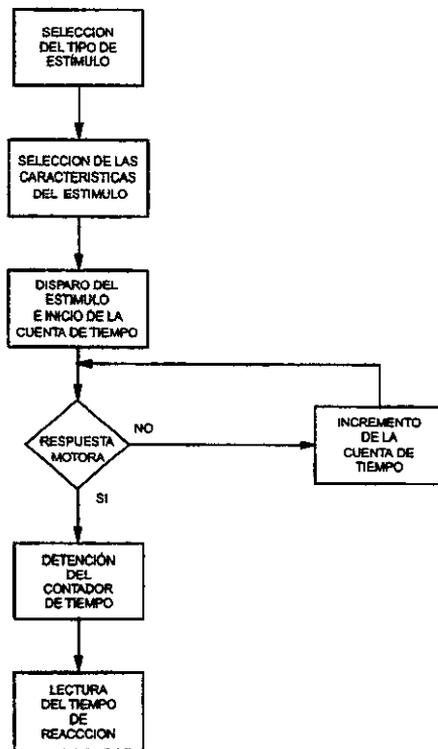


FIG. II.14. Diagrama de flujo simple que describe el proceso de medición del Tiempo de Reacción.

**Relación Estímulo-Respuesta.**

Los estudios sobre el tiempo de reacción se han realizado utilizando lo que se denomina estímulos unilaterales, es decir, sólo se estimula un lado ó hemisferio del cerebro. De esta forma puede evaluarse la velocidad de procesamiento de cada hemisferio al motivar a los sujetos para responder lo más rápidamente posible, obteniéndose una respuesta con un mínimo de consulta interhemisférica. En caso de que uno de los hemisferios requiera consultar con el otro, el valor del tiempo de reacción se verá afectado. Se ha encontrado por ejemplo que para el estímulo visual, el tiempo de transferencia interhemisférica es de 30 ms <sup>[12]</sup>, por ello es que cuando el estímulo y la respuesta se procesan en hemisferios distintos se registra un retardo en el tiempo de reacción, lo cual se debe al tiempo que toma la transferencia de información a través del cuerpo calloso y otras comisuras del cerebro.

El T.R. es influenciado en forma directa por la actividad del Sistema Reticular Activador, dado que el estado de alerta o de expectación en el que el sujeto se encuentra cuando el estímulo es aplicado, es un factor determinante. Factores fisiológicos como la actividad cerebral, la actividad muscular, la frecuencia respiratoria y la frecuencia cardíaca se incrementan en el sujeto cuando a este se le avisa que un estímulo va a ser enviado, para posteriormente disminuir su frecuencia en el periodo de espera, incrementándose nuevamente al responder al estímulo <sup>[12]</sup>.

Se ha determinado así mismo que el tiempo de reacción puede ser modificado si los estímulos se aplican de manera isócrona (con un periodo definido) o estocástica (aleatoriamente), así como por factores relacionados con procesos de atención, concentración, habituación, el efecto de drogas o fármacos e incluso por estados emocionales <sup>[12][18]</sup>.

Existen dos formas de clasificar a los tiempos de reacción:

- 1.- Tiempos de Reacción a estímulos sensoriales.
- 2.- Tiempos de Reacción a los procesos mentales.

Debido a que solo la primera de estas categorías es de importancia para el trabajo presente, a continuación veremos de forma breve sus aspectos más importantes.

**Tiempos de Reacción a estímulos sensoriales.**

Se distinguen entre sí los tiempos de *reacción simples* donde el acto perceptual es elemental (percepción de la aparición del estímulo) de los tiempos de *reacción complejos* en los que el acto perceptual esta más diferenciado y casi siempre requiere una decisión entre varias respuestas posibles. Los tiempos de reacción simples se subdividen a su vez en varias categorías, de las cuales mencionaremos las siguientes que son de nuestro interés:

- 1.- Tiempos de Reacción simples a la aparición del estímulo.
- 2.- Tiempos de Reacción simples a sucesiones de estímulos.

**Tiempos de reacción simples a la aparición del estímulo.**

Permiten estudiar la influencia de cierto número de factores importantes, comunes a todos los tiempos de reacción, particularmente el papel de las diversas características del estímulo y muy importante, el papel de los diversos factores personales.

**A. Intensidad del estímulo.**

Los tiempos de reacción varían de forma apreciable en función de la intensidad del estímulo. La variación de los T.Rs tiene un límite inferior en el umbral sensorial y un límite máximo para las intensidades más elevadas. El umbral no puede determinarse con confiabilidad debido a que no siempre se le puede reconocer con precisión además de que no es estable y sus valores pueden fluctuar aún para el mismo sujeto, por otra parte, el obtener los niveles superiores de percepción puede resultar doloroso y hasta peligroso para el órgano estudiado.

**B. Modalidad sensorial (Tipo de estímulo).**

Como se comprenderá la definición de la modalidad sensorial es un dato fundamental en la obtención del T.R. De una modalidad a otra los estímulos no tienen nada de comparable entre sí y dado que su eficacia respecto de los órganos sensoriales es diferente es sumamente complicado comparar entre sí los tiempos de reacción de las diferentes modalidades sensoriales en forma directa. Sin embargo se ha encontrado que al parecer los tiempos de reacción más reducidos son los auditivos (Baxter 1942, Chocholle 1945), siguiéndoles los táctiles (Fessard, 1930), y los visuales (Pierón, 1914, 1922, 1925), que son algo más prolongados que los anteriores <sup>[18]</sup>.

**C. Cualidad sensorial.**

Cada modalidad sensorial tiene sus propias cualidades sensoriales, que pueden ser muy variadas. Chocholle considera interesante comparar los T.R. de diversas cualidades sensoriales para una misma modalidad sensorial. Los estímulos auditivos por ejemplo, son muy aptos para esta clase de comparaciones; se ha encontrado para estos últimos que, al parecer los tiempos de reacción son prácticamente iguales para una misma intensidad sensorial en las diversas frecuencias de estimulación <sup>[18]</sup>.

Para los estímulos visuales se ha encontrado que cada color tendría un tiempo de reacción diferente (Pierón 1922, 1934, 1949); el rojo se presenta como el más rápido y el azul como el más lento <sup>[18]</sup>.

**D. Efecto de la reducción de la duración.**

Normalmente, cuando un estímulo tiene la suficiente duración, basta con que se presente para desencadenar una respuesta, pero cuando se trata de estímulos de duración breve, estos solo son efectivos por la combinación de su aparición, duración y desaparición (ésta última adquiere el valor de un segundo estímulo próximo), influyendo según el caso en el adelanto o retraso de las respuestas, y más debido a que la difusión en la corteza cerebral de los efectos del estímulo pueden cesar antes de que se generen los potenciales de acción motora. Se ha determinado sin embargo que entre más breve es la duración de un

estímulo, el umbral se eleva en forma progresiva y es necesaria una intensidad del estímulo mayor para alcanzarlo.

#### **E. Efecto de la superficie estimulada.**

Estudios realizados (para la superficie de la retina -Miles, 1936- y para la percepción táctil -Lele, Sinclair y Weddell, -1954-) <sup>[18]</sup> han demostrado que existe una variación de los tiempos de reacción en relación con la superficie estimulada del órgano sensorial, encontrándose generalmente que el tiempo de reacción disminuye al aumentar el área de la superficie sometida al estímulo.

#### **F. Efecto de la ubicación del punto de estimulación.**

Se ha demostrado (para estímulos fóticos -Poffenberger(1912) y para estímulos táctiles -Pierón,1942) <sup>[18]</sup> que los receptores sensoriales varían en sensibilidad de un punto a otro, variando su densidad. Estas diferencias deben conservarse a lo largo de todo el recorrido de las fibras nerviosas sensoriales hasta el cerebro; debido a ello el valor de los tiempos de reacción variarán según el punto estimulado.

#### **G. Efecto de la ambientación sensorial.**

El medio ambiente que rodea al sujeto al momento de realizarse las mediciones de tiempo de reacción, indudablemente tiene un efecto en la respuesta generada, pudiendo darse el caso de que la obstaculice y por tanto ésta sea demorada ó por el contrario la facilite y por tanto ésta sea acelerada.

#### **H. Efecto del intervalo entre estímulos sucesivos y entre la señal y estímulo.**

Se sabe que los Tiempos de Reacción se reducen (Wundt, 1903) <sup>[18]</sup> cuando el sujeto es avisado unos instantes antes de enviarse el estímulo mediante una señal, esta señal no debe ser tan intensa como para desviar la atención del sujeto ni tan débil que no enfoque su atención, la señal debe tener una naturaleza diferente a la del estímulo para evitar molestias a la persona examinada.

Al intervalo entre la señal y el estímulo se le ha denominado "periodo preparatorio", este periodo debe durar lo suficiente para alertar completamente al sujeto, pero sin forzar su atención demasiado tiempo, ya que esto solo lo cansará.

Para evitar que la respuesta se automatice, se varía al azar entre cada medición el periodo preparatorio, aunque esto provoca un incremento en el T.R. (en tanto que un tiempo constante entre señal y estímulo lo disminuye -Klemmer, 1956-) <sup>[18]</sup>; para evitar esta situación solo se varía el periodo de preparación en un margen limitado.

Por otra parte se requiere de un periodo de tiempo entre dos estímulos sucesivos que sea lo suficientemente largo para evitar interferencias a nivel sensorial y psíquico en la corteza cerebral, a nivel periférico y además permitir a los centros superiores emitir una nueva orden motriz.

El intervalo no debe ser tan largo para cansar al sujeto, ni tan corto que provoque que el sujeto se adelante o se atrase a la respuesta, e incluso no pueda responder. Es así que algunos autores señalan que el

valor del intervalo mínimo debe ser de igual magnitud que el tiempo de reacción mismo, no pudiendo ser menor de 100 milisegundos (Sandór en 1932, Foley y Davis en 1960, Poulton en 1945 y 1950) <sup>[18]</sup>, para que la corteza cerebral no reciba una advertencia de que se va a presentar un segundo estímulo antes de que haya respondido al primero.

Algunos autores señalan como valores óptimos 300 milisegundos (Davis, 1957), y 800 milisegundos (Fraisse, 1960), el mismo Fraisse considera un mínimo absoluto de 200 milisegundos y un intervalo relativo de 400 a 600 milisegundos <sup>[18]</sup>.

### **I. La naturaleza de la respuesta motora.**

El tipo de movimiento que se emplea al responder al estímulo influye en el T.R., entre menos natural sea el movimiento o represente mayor dificultad, la respuesta será más lenta, influyendo asimismo el hábito de ciertos movimientos, la parte corporal utilizada e incluso el grado de libertad que permita la ropa que el sujeto este empleando en el momento de realizar las pruebas.

### **Tiempos de Reacción simples a sucesiones de estímulos.**

Pueden presentarse a los sujetos dos o varios estímulos de la misma naturaleza o de naturaleza diferente y decirles que no respondan al primero o al segundo.

### **Tiempos de reacción complejos de discriminación.**

En este tipo de tiempos de reacción puede haber diversos estímulos claramente definidos, cada uno con una única respuesta asociada, aunque existen las variantes de que el sujeto responda solamente a uno de los estímulos o a algunos de ellos. Pueden distinguirse los *tiempos de reacción complejos con respuestas diferentes para cada estímulo* en los cuales los sujetos deben responder a cada estímulo pero de modo diferente, de los *tiempos de reacción complejos con respuesta a sólo un estímulo* en los cuales los sujetos sólo deben responder a un estímulo y no a los otros. Los tiempos de reacción complejos son más prolongados que los tiempos de reacción simples a la aparición del estímulo para estímulos habituales. Asimismo, es de esperarse que los T.R.s aumenten cuando los estímulos se vuelven menos discriminables entre sí (Henmon, 1906) ó cuando aumente el número de los estímulos que deben discriminarse (Merkel, 1885). Los tiempos de reacción también tienden a aumentar cuando aumenta la cantidad de respuestas posibles (Donders, 1868) ó su complejidad pero disminuyen cuando están mejor organizadas (Kreise, 1930). El efecto del entrenamiento parece ser más importante en los tiempos de reacción complejos que en los tiempos de reacción simples <sup>[18]</sup>.

### **PARÁMETROS DE ESTIMULACIÓN Y OTRAS CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO**

Este instrumento será aplicado en pruebas de medición de tiempo de reacción realizadas a infantes que padecen cáncer. El objetivo del investigador que realiza esta serie de exámenes es la evaluación de los efectos adversos que tienen la serie de tratamientos recibidos para combatir la enfermedad (quimioterapia y la radioterapia) sobre las capacidades neuromotoras y de percepción. (Dr. José Méndez, investigador del Dpto. de Psicología y Psiquiatría del Instituto Nacional de Pediatría, comunicación personal).

## **Características de los estímulos**

### **Estimulación visual**

El esquema básico de variación de las propiedades del estímulo luminoso aplicable a todos los tipos de investigación toma en cuenta la localización de la fuente de luz, la duración del estímulo, la cualidad sensorial (color) y la intensidad luminosa. Los estímulos visuales utilizados pueden adquirir las más variadas características en cuanto a la forma, el tamaño, los colores particulares de la luz y el método de aplicación. La elección de tales características obedece por lo general al criterio particular del profesional basado en la naturaleza de su investigación. Esta circunstancia sin embargo, no limita de ninguna forma la aplicación de los estímulos elegidos a otro tipo de estudios. Uno de los métodos empleados para la estimulación visual es la fotoestimulación estroboscópica, la cual enfrenta como principal problema los sonidos asociados con la descarga estroboscópica. Para la aplicación óptima de este método debe disponerse de una habitación aislada del ruido (cámara sonoamortiguada) la cual debe tener una ventana de cristal doble que preserve la atenuación del sonido. En el interior el sujeto es acomodado y en la parte exterior se coloca la lámpara de estímulo visual, que irradia su luz sobre el sujeto a través de la ventana (La estimulación estroboscópica es usada por el Dr. Gustavo Luna Villegas, jefe del Laboratorio de sueño del Instituto Mexicano de Psiquiatría que emplea en sus investigaciones flashes de luz blanca con intensidades de  $.0015 \text{ lumen/cm}^2$ , con duraciones de  $10 \mu\text{s}$ , durante un segundo y con intervalos máximos de 10 s entre cada ensayo).

La fuente luminica especificada para este trabajo intenta evitar la utilización de equipo auxiliar costoso como el incluido en la estimulación estroboscópica. Tiene una forma puntual sencilla y de dimensiones pequeñas (diámetro aprox. 1 cm.). Debe ser enviada de forma estocástica al sujeto y los parámetros del estímulo del esquema básico (cualidad, ancho, canal e intensidad) pueden ser variados. El canal de estimulación estará basado en la división del cerebro en hemisferio derecho y hemisferio izquierdo. El color de la luz servirá para pruebas de tiempos de reacción simples a la aparición del estímulo y para pruebas complejas de discriminación basadas en la cualidad (Méndez, 1997). La intensidad luminosa es atenuada a partir de un nivel máximo fijado de forma experimental y expresado en luxes- (Zapata, 1998).

### **Estimulación Auditiva**

Los investigadores generalmente emplean *clicks* que se generan a través de un pulso cuadrado monofásico que excita a un transductor electroacústico - bocina -. La naturaleza de este tipo de señal no sólo es útil para evaluar el T.R. sino que también se utiliza para el estudio de los potenciales evocados. (M. Angel Zapata, Lab. de Bioingeniería del IMP; Dra. Selene Cansino, U. de Posgrado de la Fac. de Psicología UNAM; Dr. José Méndez, INP).

Al igual que el estímulo visual, el esquema básico de variación de las propiedades del estímulo auditivo incluye la localización de la fuente de sonido, la duración del estímulo, la cualidad sensorial (frecuencia) y la intensidad.

El estímulo empleado en este trabajo debe ser enviado de forma estocástica al sujeto y los

parámetros del estímulo del esquema básico (cualidad, ancho, canal e intensidad) pueden ser variados. La localización de la fuente de sonido se encuentra basada en la división del cerebro en hemisferio derecho e izquierdo mientras que para la cualidad sensorial, se determinan frecuencias acústicas diferenciables cercanas a la frecuencia de 3000 Hz, correspondiente a la máxima sensibilidad auditiva. Tales frecuencias se utilizarán no sólo para pruebas de tiempos de reacción simples a la aparición del estímulo sino también para pruebas complejas de discriminación (Méndez, 1997). La intensidad sónica es atenuada en decibeles eléctricos a partir de un nivel máximo fijado de forma experimental y expresado en watts de potencia eficaz- (Zapata, 1998). Por último, los estímulos podrán ser enviados no sólo a través de una bocina sino también mediante audífonos.

Cabe mencionar que los estímulos auditivos no representan un peligro para la integridad del sujeto siempre y cuando los sonidos empleados no sean tan fuertes que puedan ser dolorosos e incluso causar daños permanentes al oído. Para evitar esta situación no se deberá exponer al sujeto al estímulo hasta determinar que la intensidad supraumbrales sea inofensiva y que se compruebe el buen funcionamiento de la fuente de estimulación.

#### **Estimulación somato-sensorial**

El estímulo somático consiste generalmente de un pulso eléctrico monofásico de forma de onda cuadrada ó en espiga. Al igual que los tipos de estímulo anteriores, el esquema básico de variación de las propiedades toma en cuenta la localización de la fuente de estimulación, la cualidad (frecuencia de la onda), la duración del estímulo y la amplitud de los pulsos ó voltaje (aunque también es frecuente la variación de la corriente). Aunada a estos parámetros, también se considera la duración ó ancho del pulso.

Existen algunas variantes en cuanto a los valores particulares que tienen las propiedades básicas del estímulo somático. Pueden citarse estímulos con pulsos activos de duración que abarcan los 100  $\mu$ s y hasta 1 ms, con variaciones de corriente que van de 4 a 6 mA y aún 10 mA. Un circuito para estimulador de corriente constante con capacidades de 25 a 30 mA ha sido publicado por Allison, Goff y Brey (1967)<sup>[19]</sup>. Otra fuente de referencia cita pulsos con duración de 100  $\mu$ s y hasta 10 ms, con una duración máxima del estímulo de 300 a 500 ms y rangos de frecuencia entre 40 y 60 Hz, con voltajes que van de 5V y hasta 20V. (Dr. Alfonso Salgado Benitez, jefe Lab. Neurofisiología General de la Facultad de Psicología de la UNAM, 1997).

Las variaciones de la corriente y el voltaje aplicado pueden darse tanto por la resistencia de la piel así como por la sensibilidad del sujeto y la duración del estímulo; a menor duración, podría requerirse de una mayor intensidad para compensar la efectividad del estimulador. En la estimulación somato-sensorial debe tenerse cuidado que corrientes grandes no atraviesen la piel durante un periodo de tiempo largo ya que podría provocarse una sensación de ardor posterior. Asimismo, debe tenerse cuidado que las corrientes no atraviesen el pecho del sujeto, ya que corrientes relativamente pequeñas podrían provocar paros cardiorespiratorios.

La estimulación eléctrica de la piel en forma directa se denomina *percutánea (estimulación somato-sensorial percutánea)*. Los electrodos para llevarla a cabo pueden consistir de plaquitas de cobre ó también pueden utilizarse electrodos de oro ó de plata clorurada (muy empleados en electroencefalogramas y para estudios de potenciales evocados).

La salida de un generador de estímulos somáticos deberá estar aislada de tierra. Este aislamiento ayuda a proteger a los sujetos de shocks accidentales excesivos al limitar el camino de la corriente entre los electrodos poco espaciados. A este respecto, se hace énfasis en la necesidad de que cualquier unidad de estimulación eléctrica cuente con una unidad de aislamiento entre el sujeto y el generador de pulsos, funcionando como una *tierra flotante*. (Salgado, 1997).

Una tierra adicional (la cual no deberá coincidir con la tierra del estimulador) que se coloca en el sujeto provee de protección adicional ya que proporciona un camino de corriente mediante el cual se evita la región pectoral; dicha tierra se coloca normalmente en el miembro que está siendo estimulado. Existen dos formas de hacer esto:

- 1.- Se puede usar una tira metálica flexible (tira de tierra) que es mantenida en su lugar mediante una banda elástica.
- 2.- Se puede usar una tira de goma conductora, untada generosamente con jalea o pasta para electrodos, esta tira es fácil de limpiar y es sujeta mediante una hebilla, lo cual es más conveniente además de que facilita los ajustes en la tensión.

Como precaución final se recomienda poner fusibles de baja corriente a la salida del estimulador, ya que los fusibles utilizados para proteger a los instrumentos eléctricos de sobrecargas, no necesariamente protegerán a los sujetos. <sup>[19]</sup>.

El estímulo empleado en este trabajo deberá ser enviado de forma estocástica y los parámetros del estímulo del esquema básico (cualidad, duración, canal e intensidad) podrán ser variados así como también el ancho ó duración del pulso. La localización de los electrodos se encuentra basada en la división del cerebro en hemisferio derecho e izquierdo mientras que el rango de frecuencias del pulso se utilizarán no sólo para pruebas de tiempos de reacción simples a la aparición del estímulo sino también para pruebas complejas de discriminación (Méndez, 1997). La intensidad del estímulo somático se basa en la variación de la amplitud del pulso eléctrico a partir de un nivel máximo fijado de forma experimental y expresado en volts pico (Zapata, 1998). La fuente de estimulación será aislada por transformador y los estímulos serán aplicados a través de placas de cobre.

### **Consideraciones especiales**

Las pruebas realizadas generalmente se circunscriben a un laboratorio de hospital o de un centro de investigación, quedando fuera de toda posibilidad realizar pruebas en algún otro sitio debido a que el equipo empleado dada su complejidad y tamaño no es fácil de transportar, incluso dentro de las mismas instalaciones. Uno de los problemas que deben resolverse es precisamente la dificultad de llevar el equipo fuera del laboratorio. El Dr. Méndez refiere la frecuente imposibilidad de los niños para moverse cuando se les requiere para algún estudio, principalmente debido al stress que para ellos representa dicha situación. Es por tanto un requerimiento concentrar el dispositivo en la medida de lo posible. (Utilización de circuitos

digitales) de forma que podamos hablar de un sistema clínico-portátil.

En México desgraciadamente tanto las instituciones de investigación como los hospitales se encuentran ante el problema de la carencia del presupuesto necesario para poder comprar equipo especializado para la realización de investigaciones. Es por ello que otro de los requerimientos es el diseño de un equipo que tenga un costo lo más bajo posible sin que ello perjudique las capacidades del mismo, con tecnología de fácil acceso y por tanto cuya reparación no represente el inconveniente de complicarse por la falta de componentes.

### Resumen de definición de Estímulos

A continuación se enumeran los parámetros finales de estimulación empleados:

**1.- Estímulo Visual:** Arreglo de luces puntuales con las siguientes propiedades:

- Cuatro colores que definen la cualidad: Rojo, Amarillo, Verde y Azul.
- Intensidad luminosa absoluta máxima de 5 luxes. Esta intensidad puede reducirse hasta el 0% del nivel máximo. La graduación de este parámetro se muestra en FIG.II.15.
- Canales para la estimulación del sujeto a la izquierda y a la derecha de su campo de percepción.
- Duración del estímulo:
  - a) Valores definidos de 100 ms, 250 ms y 500 ms.
  - b) Duración indefinida cuyo límite es fijado por el sujeto hasta que éste responde al estímulo.
- Intervalo entre estímulos estocástico (aleatorio).

**2.- Estímulo Auditivo:** Estímulos sónicos por generación de una onda cuadrada monofásica con las siguientes propiedades:

- Cuatro frecuencias que definen la cualidad correspondientes a los tonos La<sub>6</sub>, Sol<sub>6</sub>, Fa<sub>6</sub>, Mi<sub>6</sub> de la escala musical dicotónica internacional.
- Intensidad acústica eficaz máxima de 100 mW. El nivel de sonido puede ser atenuado a partir del valor máximo (0 dB de atenuación) hasta -27 dB. La graduación para este parámetro se muestra en FIG.II.15.
- Canales para la estimulación del sujeto a la izquierda y a la derecha de su campo de percepción.
- Duración del estímulo:
  - a) Valores definidos de 100 ms, 250 ms y 500 ms.
  - b) Duración indefinida cuyo límite es fijado por el sujeto hasta que éste responde al estímulo.
- Intervalo entre estímulos estocástico (aleatorio).

**3.- Estímulo Somatosensorial (Táctil):** Estimulación percutánea conformada por pulsos eléctricos de forma cuadrada con las siguientes propiedades:

- Cuatro frecuencias de estimulación que definen la cualidad de 20 Hz, 40 Hz, 60 Hz y 75 Hz
- Ancho de pulso activo de entre 100 µseg. y 2.5 ms.

- Amplitud máxima del pulso de 120V y capacidad de corriente máxima de 50 mA. El pulso puede ser reducido del máximo hasta 0 V. La graduación para este parámetro se muestra en FIG.II.15
- Canales para la estimulación del sujeto a la izquierda y a la derecha de su campo de percepción.
- Duración del estímulo:
  - a) Valores definidos de 100 ms, 250 ms y 500 ms.
  - b) Duración indefinida cuyo límite es fijado por el sujeto hasta que éste responde al estímulo.
- Intervalo entre estímulos estocástico (aleatorio).

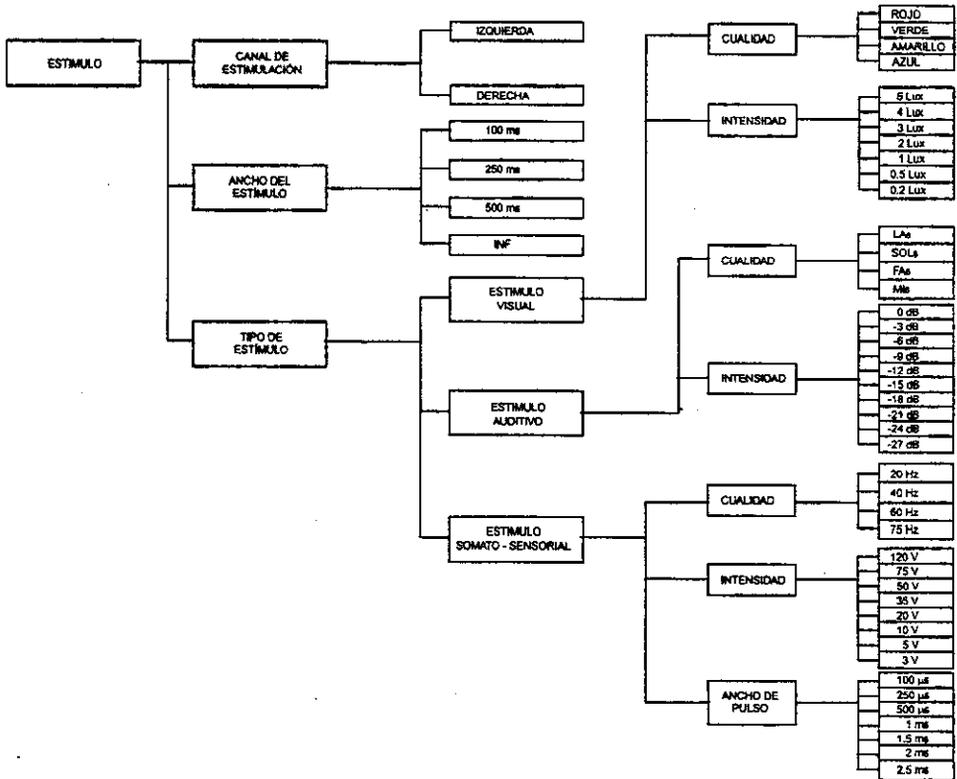


FIG. II.15. Diagrama de selección del estímulo

---

# **CAPÍTULO III**

**DISEÑO DEL INSTRUMENTO DIGITAL DE MEDICIÓN DEL TIEMPO DE  
REACCIÓN**

---

## INTRODUCCIÓN

La estructura de los sistemas digitales puede entenderse desde el llamado modo clásico que lo considera como un conjunto de flip-flops y compuertas que se interconectan entre sí para formar redes lógicas. El conjunto de técnicas de diseño dentro de este punto de vista, es llamado diseño clásico. Sin embargo, especificar un sistema digital extenso desde este punto de vista exclusivamente no es práctico por la gran cantidad de elementos digitales que pudieran verse involucrados. Para salvar esta dificultad, los sistemas digitales se perciben y diseñan usando invariablemente el punto de vista *modular*. El sistema se divide en subsistemas ó módulos que realizan cada uno una función específica. Los módulos se descomponen a su vez en otros sub-módulos ó en *funciones digitales* tales como registros, contadores, decodificadores ó multiplexores. De esta forma un sistema digital se visualiza como un conjunto de módulos interconectados para realizar una función común.

Los circuitos digitales se construyen invariablemente con circuitos integrados (CI). Aunque estos pueden ser lineales ó digitales, para propósito de este trabajo asumiremos al referirnos a ellos que son del tipo digital. Cada CI es un conjunto de componentes electrónicos interconectados tales como resistencias y transistores hechos en base a un cristal semiconductor de silicio llamado pastilla. La pastilla esta encapsulada en un empaque de plástico con sus conexiones externas soldadas a patillas metálicas. De esta forma, el circuito dentro del CI se hace accesible solamente por medio de las patillas. Los CI pueden configurar en un sólo paquete, un conjunto de compuertas, funciones digitales ó incluso módulos digitales completos. Este hecho es conocido como escala de integración. Unas pocas compuertas en una sola pastilla constituyen un elemento de integración pequeña (SSI). Un CI de escala de integración mediana (MSI) cumple con una función lógica completa y una complejidad de 10 a 100 compuertas<sup>61</sup>. Un elemento de integración de gran escala (LSI) tiene más de 100 compuertas. Elementos de muy grande escala (VLSI) pueden contener miles de compuertas en un solo empaque.

Actualmente, funciones lógicas importantes, (contador, multiplexor, decodificador, registro de corrimiento ) se obtienen de elementos de mediana ó gran escala de integración. Este hecho hace que la práctica del diseño considere a tales funciones como las células básicas de los sistemas digitales. De hecho, el diseñador deberá preferir circuitos integrados con funciones incorporadas, preocupándose tan solo de entender la operación externa en lugar de diseñar los circuitos digitales internos que la forman.

Este capítulo trata sobre el diseño de un sistema digital práctico de medición de tiempo de reacción. Para ello, se emplea predominantemente el enfoque modular combinado con técnicas de diseño clásico que configuran partes específicas del sistema a nivel flip-flop y compuerta. Aunadas a ellas, se incluyen consideraciones que tienen que ver por una parte con la configuración de los circuitos eléctricos auxiliares (transistores y circuitos RC) y por la otra, con las características electrónicas de los circuitos integrados utilizados para la realización del diseño que puedan afectar su operación.

## CONCEPTOS BÁSICOS ACERCA DE LOS CIRCUITOS INTEGRADOS TTL (LS)

A continuación se da una introducción a los aspectos electrónicos de los circuitos integrados:

**Características básicas de los CI**

Una familia lógica se refiere a una clase específica de circuitos lógicos que son fabricados utilizando las mismas técnicas de manufactura. Aunque existen muchos fabricantes de CI, parte de la nomenclatura y terminología es prácticamente estándar. Las características básicas de los CI se definen a continuación:

**Parámetros de corriente y voltaje:**

- $V_{IH}$  (mín) - Voltaje de entrada de valor 1: El voltaje que se requiere para un 1 lógico en una entrada. Cualquier voltaje debajo de este nivel no será aceptado como 1 por el CI.
- $V_{IL}$  (máx) - Voltaje de entrada de valor 0: El voltaje que se requiere para un 0 lógico en una entrada. Cualquier voltaje que esté por encima de este valor no será aceptado como 0 por el CI.
- $V_{OH}$  (mín) - Voltaje de salida de valor 1: Nivel de voltaje en la salida del CI en el estado 1 lógico. El valor mínimo de  $V_{OH}$  es especificado por lo general.
- $V_{OL}$  (máx) - Voltaje de salida de valor 0: Nivel de voltaje en la salida de un CI en el estado 0 lógico. El valor máximo de  $V_{OL}$  se especifica generalmente.
- $I_{IH}$  - Corriente de entrada de valor 1: Corriente que fluye en una entrada cuando se aplica un voltaje de valor 1 especificado a esta entrada.
- $I_{IL}$  - Corriente de entrada de valor 0: Corriente que fluye en una entrada cuando se aplica un voltaje de valor 0 especificado a esta entrada.
- $I_{OH}$  - Corriente de salida de valor 1: Corriente que fluye desde una salida en el estado 1 en condiciones de carga especificadas.
- $I_{OL}$  - Corriente de salida de valor 0: Corriente que fluye a partir de una salida en el estado 0 en condiciones de carga especificadas.

La FIG.III.1A ilustra la lógica de *suministro de corriente*. Cuando la salida de una compuerta 1 se encuentra en alto, esta suministra la corriente  $I_{IH}$  a la entrada de la compuerta 2, que actúa esencialmente como una resistencia conectada a tierra. La salida de la compuerta 1 se dice entonces que es una fuente de corriente para la entrada de la compuerta 2. La lógica de *drenaje* se muestra en FIG.III.1B. Aquí, los circuitos de compuerta 2 se muestran en conjunto como una resistencia conectada a  $V_{cc}$  (terminal de suministro de energía). Cuando la salida de la compuerta 1 pasa a su estado 0, la corriente fluye de la entrada de la compuerta 2 a través de la resistencia de salida de la compuerta 1 conectada a tierra. La compuerta 1 con salida en estado 0 drena una corriente  $I_{IL}$  que viene de la entrada de la compuerta 2.

**Fan Out**

En general, la salida lógica de un CI debe conectarse y conducir varias entradas lógicas de otros circuitos. La capacidad ó factor de carga se define como el número *máximo* de entradas lógicas *estándar* que una salida puede impulsar con exactitud. Si tal número es excedido, los voltajes del nivel lógico de salida no se pueden asegurar. Por ejemplo, una compuerta lógica que se especifica con una capacidad de 10 podrá impulsar 10 entradas lógicas estándar.

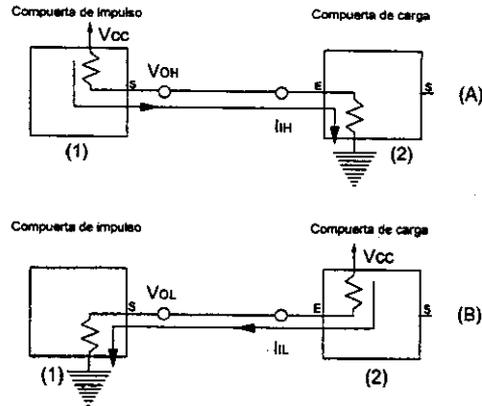


FIG.III.1(A) Suministro de corriente y (B) Drenaje de corriente

**Retardo de propagación**

Una señal lógica siempre experimenta una demora al recorrer un CI. Los tiempos de propagación se definen como:

- $t_{PLH}$  : tiempo de retraso de una señal al pasar del estado 0 al estado 1.
- $t_{PHL}$  : tiempo de retraso de una señal al pasar del estado 1 al estado 0.

En términos generales,  $t_{PHL}$  y  $t_{PLH}$  no son del mismo valor y ambos pueden variar según las condiciones de carga. Los valores de los tiempos de propagación se utilizan como una medida de la velocidad relativa de los circuitos lógicos.

**Requisitos de energía**

Todos los CI requieren de cierta cantidad de energía eléctrica para poder funcionar. Esta energía es abastecida por uno ó más voltajes de suministro de energía conectados a las terminales de carga de los circuitos. Generalmente sólo hay una terminal de suministro de energía que se marca como  $V_{CC}$  para el caso de la familia lógica utilizada para el diseño. La cantidad de energía que requiere un CI se especifica por lo general en términos de la corriente ( $I_{CC}$ ) que extrae de la fuente de suministro de  $V_{CC}$ , y la energía real es el producto  $I_{CC} \times V_{CC}$ . Para muchos CI el consumo de corriente de la fuente de suministro podrá variar según los estados lógicos de los circuitos. El consumo de corriente de la fuente para el caso en que todas las salidas del CI son 1 se especifica como  $I_{CCH}$  y para el caso en que todas las salidas del CI son 0 se especifica como  $I_{CCL}$ . Generalmente  $I_{CCH}$  y  $I_{CCL}$  son diferentes por lo que la corriente promedio es:

$$I_{CC(prom)} = (I_{CCH} + I_{CCL}) / 2$$

y se puede calcular el consumo promedio de energía como:

$$P_{D(prom)} = I_{CC(prom)} \times V_{CC}$$

**Inmunidad al ruido de**

Los campos eléctricos y magnéticos vagabundos pueden inducir voltajes en los alambres de conexión entre los circuitos lógicos. Estas señales ilegítimas no deseadas se llaman ruido y algunas veces pueden ocasionar que el voltaje en la entrada de un CI caiga por debajo de  $V_{IH}(\text{mín})$  ó exceder  $V_{IL}(\text{máx})$  lo cual podría producir una operación poco confiable. La inmunidad al ruido de un CI designa su capacidad para tolerar voltajes parásitos en sus entradas. A la cantidad de inmunidad al ruido se le llama margen de ruido.

El margen de ruido de estado 1  $V_{NH}$  se define como:

$$V_{NH} = V_{OH}(\text{mín}) - V_{IH}(\text{mín})$$

Cuando una salida lógica 1 esta impulsando una entrada del CI, cualquier punta de descarga mayor que  $V_{NH}$  que aparezca en la línea puede hacer que el voltaje disminuya a un rango indeterminado con lo cual ocurrirá una operación impredecible.

El margen de ruido de estado 0  $V_{NL}$  se define como:

$$V_{NL} = V_{IL}(\text{máx}) - V_{OL}(\text{máx})$$

Cuando una salida lógica 0 impulsa una entrada del CI, cualquier falla por ruido positiva mayor que  $V_{NL}$  puede hacer que el voltaje se eleve a un nivel indeterminado.

**Tiempo de transición de subida y de bajada**

En la realidad, la transición de nivel lógico ya sea de 0 a 1 ó de 1 a 0 no se da en forma instantánea sino que toma un tiempo finito.

El tiempo de subida ( $t_r$ ) es el tiempo de la transición de la señal del estado 0 al estado 1. Se mide entre el 10% y 90% de la transición.

El tiempo de bajada ( $t_f$ ) es el tiempo de la transición de la señal del estado 1 al estado 0. Se mide entre el 90% y 10% de la transición.

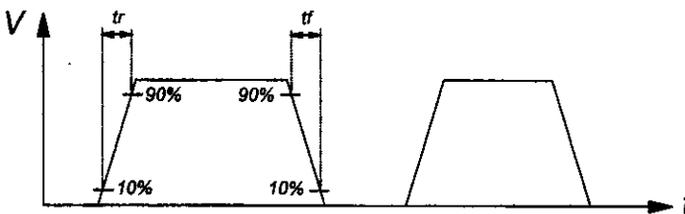


FIG.III.2. Tiempos de subida y bajada de una señal digital

**La familia de CI utilizada para el diseño del sistema**

En 1964, la Texas Instruments presentó la primer versión de la familia TTL (Transistor-Transistor Logic) llamada TTL estándar y desde entonces ha sido una de las familias de CI más ampliamente utilizadas porque ofrece una combinación de velocidad y disipación de energía adecuadas a muchas aplicaciones y una amplia variedad de circuitos de escala SSI y MSI. Esta familia es de tecnología bipolar, esto es, utiliza en su construcción componentes resistivos y transistores bipolares que trabajan en corte ó plena saturación y cuyas corrientes son debidas al movimiento de huecos y electrones. Para poder funcionar, la familia TTL requiere de un suministro de voltaje positivo regulado ( $V_{cc}$ ) entre los 4.75 y los 5.25 en el intervalo de temperatura de

0 A 70° C. La familia TTL estándar es identificada comercialmente con la serie 74XX y existen varias versiones de ella que ofrecen mejores alternativas de velocidad y disipación de energía. (FIG.III.3)

Versión TTL	Nomencl.	Característica
TTL Estándar	74XX	
TTL (L) Bajo-poder	74LXX	Menor disipación de energía que TTL
TTL (H) Rápido	74HXX	Mayor velocidad que TTL
TTL (S) Schottky	74SXX	Menor disipación de energía y más velocidad que TTL(L) y TTL(H)
TTL (LS) Schottky de bajo poder	74LSXX	Menor disipación de energía que TTL(S)
TTL (ALS) Schottky de bajo poder avanzado	74ALSXX	Menor disipación de energía y más velocidad que TTL(LS)
TTL (F) Alta Velocidad	74FXX	Versión de la mayor velocidad

FIG.III.3. Tabla de las diferentes versiones de la familia TTL

La versión utilizada para la construcción del diseño es la TTL Schottky de bajo poder (74LSXX). Es apropiada para el desarrollo de aplicaciones que requieren circuitos con escalas de integración pequeña (SSI) y media (MSI) como el de este caso además de que es fácil de utilizar y no requiere de grandes cuidados para su manejo. La serie LS tiene un mejor desempeño (menor consumo de poder/mayor velocidad) en su operación que sus antecesores y tiene una mayor disponibilidad y menor costo que las versiones mejoradas ALS y FAST.

**Parámetros de voltaje y corriente de la serie 74LSXX**

Los siguientes valores se dan cuando el voltaje de suministro  $V_{cc} = 5 \pm 5\%$  a una temperatura de operación dentro del intervalo de 0 a 70° C:

$V_{IH}(\text{mín})$	$V_{IL}(\text{máx})$	$V_{OH}(\text{mín})$	$V_{OL}(\text{máx})$	Unidades
2	0.8	2.7	0.5	Volts

$I_{IH}$	$I_{IL}$	$I_{OH}$	$I_{OL}$	Unidades
0.02	-0.4	-0.4	8	mA

**Fan-Out**

Al definir el fan-out de un CI, se menciona su capacidad de impulsar varias entradas lógicas estándar. En el caso de los CI TTL, los fabricantes han establecido factores de carga de entrada y salida estandarizados en términos de la corriente. Estas corrientes se denominan cargas unitarias (UL) y se definen como sigue:

$$1 \text{ UL} = 40 \mu\text{A en el estado 1}$$

$$1 \text{ UL} = 1.6 \text{ mA en el estado 0}$$

Estas cargas unitarias representan las corrientes máximas de entrada para la serie TTL estándar. La corriente que fluye hacia una entrada estándar en el estado 1 es  $I_{IH}(\text{máx}) = 40 \mu\text{A}$  y la corriente máxima que fluye fuera de una entrada estándar en el estado 0 es  $I_{OL}(\text{máx}) = 1.6 \text{ mA}$ . Aunque los factores de carga se basan en la serie 74XX, se utilizan para expresar la capacidad de impulso de salida de la serie 74LSXX.

Si  $I_{OH(LS)}$  e  $I_{OL(LS)}$  representan las corrientes de salida en estado 1 y en estado 0 respectivamente de un CI de la serie 74LSXX, el Fan-Out normalizado para el estado alto y para el estado bajo es:

$$FO(1) = I_{OH(LS)} \mu A / 40 \mu A$$

$$FO(0) = I_{OL(LS)} mA / 1.6 mA$$

**Inmunidad al ruido :**

$$V_{NH} = 2.7 V - 2 V = 700 mV$$

$$V_{NL} = 0.8 V - 0.5 V = 300 mV$$

**Tiempos de transición**

Las señales digitales que viajan a través de los CI (LS)TTL deben observar transiciones relativamente rápidas para lograr una operación confiable. En general transiciones que excedan los 50 ns pueden originar oscilaciones en las salidas de las compuertas (FIG.III.4) y activaciones erróneas de los flip-flops y multivibradores monoestables.

Una señal de transición lenta puede ser re-formateada pasándola a través de un circuito disparador de Schmitt. Un circuito Schmitt produce transiciones de salida muy rápidas (10 ns) como respuesta a transiciones más lentas en las señales de entrada. Esto se logra fijando 2 límites de voltaje  $V_{T+}$  y  $V_{T-}$  que disparan al Schmitt. Varios CI de la serie 74LSXX incluyen circuitos Schmitt de disparo.

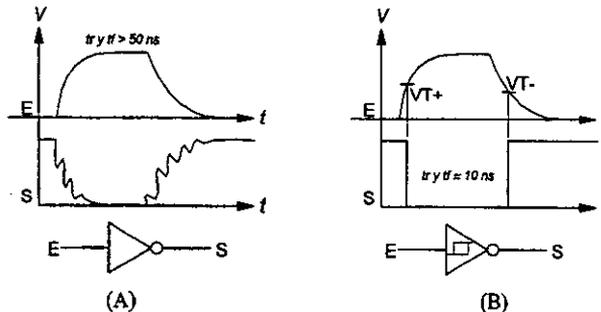


FIG.III.4.(A)  $t_r$  y  $t_f$  lentos hacen que la salida del inversor LS TTL oscile (B) La salida se formatea con un inversor Schmitt

**LS TTL de estado triple.** Es un tipo de salida especial que tienen algunos circuitos presentes en distintas versiones de la familia TTL. Se le denomina de estado triple porque permite que existan tres posibles estados de salida: Estado 1, Estado 0 y la llamada alta impedancia (Hi Z). El estado Hi-Z es una condición en la cual la salida se comporta como una terminal abierta ó flotante que no es ni 1 ni 0. En la practica, este estado no es un circuito abierto exacto, pero tiene una resistencia de varios megaohms. Los circuitos con este tipo de salida tienen una entrada especial llamada *Enable* (Habilitación) que permite llevarlos a su operación lógica normal ó al estado Hi-Z en el cual no importan los cambios de las combinaciones de entradas.

**Requerimientos generales de operación de los circuitos TTL**

1. Las señales de entrada de los TTL-LS nunca deben de exceder de  $V_{cc}$  ó caer por debajo de tierra.
2. Evitense las entradas flotantes ó no conectadas ya que estas pueden actuar como antenas susceptibles de

recoger señales radiadas parásitas y provocar una operación inadecuada del CI.

3. Las salidas de compuertas no utilizadas pueden forzarse al estado 1 para ahorrar corriente.

4. Evitense cables muy largos al conectar CI's.

5. Llévase a cabo el llamado *desacoplamiento de suministro de energía* que consiste en colocar un capacitor de 0.01  $\mu\text{F}$  ó de 0.1  $\mu\text{F}$  entre  $V_{cc}$  y tierra cerca de cada CI. La finalidad de los capacitores es la de "acortar" los grandes picos de voltaje de suministro que se generan como consecuencia de la presencia de transitorios de corriente de alta amplitud y corta duración que se extraen de la fuente ( $V_{cc}$ ) cuando las salidas de los circuitos TTL-LS cambian de estado. Las terminales de los capacitores deben ser lo más cortas posibles.

### INTRODUCCIÓN A LA CONMUTACIÓN DE LOS TRANSISTORES BIPOLARES

Un circuito de conmutación es aquel en el cual la tensión de salida se desplaza bruscamente de un nivel de tensión llamado 0 a otro denominado estado 1 y viceversa cuando se aplica a la entrada de este una señal digital. Los transistores son susceptibles de funcionar como circuitos de conmutación al obligarlos a operar dentro de las llamadas zonas de corte y de saturación. La FIG.III.5 muestra la configuración básica de un transistor NPN cuando es utilizado como circuito de conmutación.

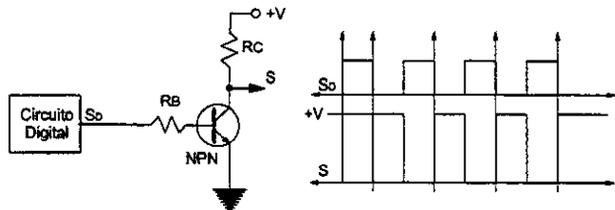


FIG.III.5. Operación en conmutación de un transistor NPN

Puede observarse que la base se polariza si la salida del circuito digital  $S_D = 1$ . Cuando  $S_D = 0$  la base y el emisor están al mismo potencial de tierra, no existe corriente de base y el transistor está en corte, es decir, prácticamente no hay corriente de colector y el voltaje en el punto S es +V. Cuando  $S_D$  cambia a 1, la base se polariza positivamente con respecto al emisor y el transistor puede saturarse rápidamente pasando a conducir la máxima intensidad que le permite la resistencia de carga ( $R_C$ ) si existe suficiente corriente de base. La corriente de colector en estas condiciones está dada por

$$I_C = (+V - V_{CE}) / R_C$$

Para fines prácticos el voltaje de la juntura colector-emisor  $V_{CE}$  se desprecia porque en la región de saturación tiene un valor de cero ó muy cercano por lo que podemos expresar :

$$I_C \approx +V/R_C$$

Puede observarse que la corriente máxima  $I_C$  que puede circular de colector a emisor está limitada por  $R_C$ . Sin embargo, este valor también está determinado por otra parte por la tensión de polarización de la base. La corriente de base está dada por:

$$I_B = (V_{SD} - V_{BE}) / R_B$$

Donde  $V_{SD}$  es el voltaje de salida del circuito digital. El estado de conducción del transistor se logra cuando el voltaje de la juntura base - emisor  $V_{BE}$  alcanza típicamente un valor de 0.6 a 0.7 volts en

transistores de silicio. Esta magnitud puede variar un poco entre los diversos tipos de transistores y en la práctica puede despreciarse para valores de  $R_B$  grandes, por lo que:

$$I_B \approx V_{SD}/R_B$$

Aunque el transistor conduzca no significa que se encuentre saturado, diremos que esta condición se logra cuando la corriente de base es de tal magnitud que reduce la tensión del colector a cero ó a un valor muy cercano. La ganancia de corriente DC ( $h_{FE}$ ) expresa la relación existente entre la cantidad de corriente  $I_B$  que se requiere para producir un determinado valor de  $I_C$ . Esto es:

$$I_B = I_C/h_{FE}$$

La corriente total colector - emisor queda como:

$$I_E = I_C + I_B$$

donde si  $I_B$  es muy pequeña con respecto a  $I_C$ , puede despreciarse.

En diversas aplicaciones, se requiere una gran corriente de colector  $I_C$  porque  $RC$  es muy pequeña, sin embargo, debe tenerse presente que existe un límite máximo de corriente  $I_C$  que puede manejar el transistor. Este y otros parámetros de interés cuando se utiliza un transistor como circuito de conmutación se muestran en FIG.III.6.

Símbolo	Descripción
$V_{CE0}$	Voltaje entre colector y emisor con base desconectada (Máximo).
$V_{CB0}$	Voltaje entre colector y base con emisor desconectado. (Máximo).
$I_C$	Corriente DC de colector (Máxima)
$V_{CE(SAT)}$	Voltaje entre colector y emisor en condiciones de saturación. (Máximo).
$V_{BE(SAT)}$	Voltaje entre base y emisor en saturación (Máximo).
$h_{FE}$	Ganancia de corriente directa (Mínima).

FIG.III.6. Tabla de parámetros de interés de un transistor bipolar como Circuito Conmutador.

En FIG.III.6 se puede observar que  $S$  tiene la fase invertida con respecto a  $S_D$ . Para ponerlas en fase se puede utilizar la configuración mostrada en FIG.III.7.

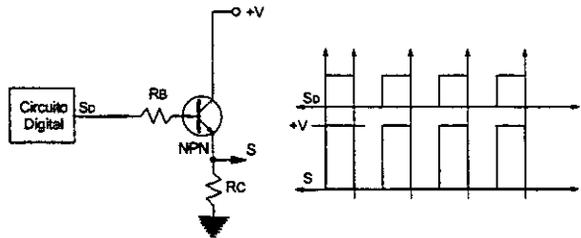


FIG.III.7. Configuración para poner el pulso de salida en fase con la entrada digital

Con respecto a un transistor PNP, la diferencia de potencial base-emisor requerida para la conducción debe ser también de alrededor de 0.6-0.7 volts, pero esta vez referidos al +V. Esto significa que un pulso negativo (1 a 0) ocasiona que el transistor entre en el estado de conducción y la base será negativa

con respecto al emisor en 0.6-0.7 volts. (FIG.III.8)

El potencial de 0.6-0.7 V se establece automáticamente en la juntura base-emisor tanto en transistores NPN como en los PNP al polarizar la base y no variará casi nada con diferentes valores de  $R_B$  a diferencia de lo que sucede con el valor de la corriente de base.

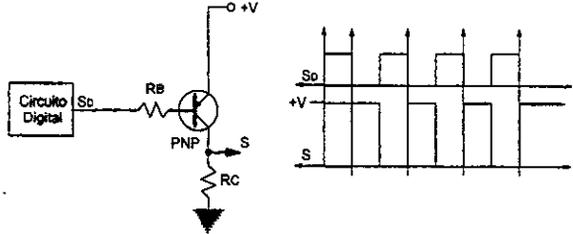


FIG.III.8. Configuración de un transistor PNP como circuito en conmutación

En FIG.III.8 se observa que la señal de salida está invertida en relación con la entrada. Para ponerlas en fase al utilizar un transistor PNP se puede utilizar la configuración mostrada en FIG.III.9.

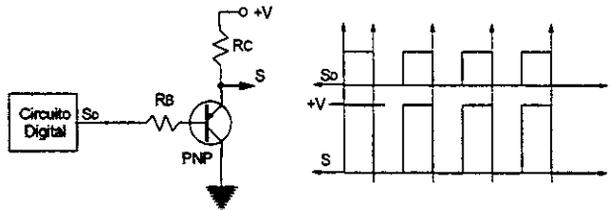


FIG.III.9. Configuración para poner el pulso de salida en fase con la entrada digital con un transistor PNP

## DISEÑO DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DEL T.R.

Para la realización de pruebas de medición de T.R el sistema digital debe establecer comunicación con dos entidades externas que son el investigador y el paciente. Esta comunicación se lleva a cabo de la forma que se muestra en el diagrama a bloques básico del sistema (FIG.III.10).

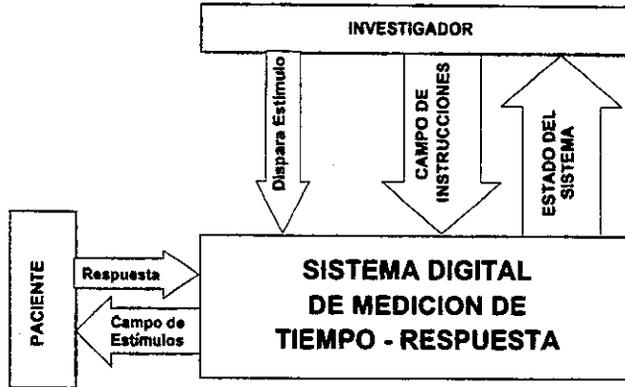


FIG.III.10. Diagrama primario del sistema digital de medición de T.R..

- **Comunicación Sistema - Investigador.** Mediante esta relación el investigador inicia las operaciones y es informado a su vez del estado que guarda en todo momento el sistema (retroalimentación). El conjunto de señales que la compone puede dividirse en tres grupos: a) *Disparo del Estímulo* es la señal que inicia una prueba de medición de T.R., esto es, emisión de un estímulo e inicio de la cuenta del reloj de medición de tiempo de reacción. b) *Campo de Instrucciones* que engloba a todas las señales que instruyen al sistema para realizar alguna operación y c) *Estado de Sistema* que es un conjunto de señales que son enviadas al investigador (retroalimentación) a fin de informar sobre la condición actual ó estado actual del sistema digital.
- **Comunicación Sistema - Paciente.** Durante el desarrollo de una prueba de T.R., los pacientes interactúan con el sistema digital mediante: a) una señal llamada *Respuesta* que representa la acción motora que permite la detención de la cuenta del reloj de tiempo de reacción después de que se percibe un estímulo (término de la prueba) y b) el *Campo de Estímulos* que se refiere al conjunto de estímulos sensoriales enviados.

El procedimiento de medición del T.R. involucra dos procesos básicos:

- 1) **Definición del estímulo.** Consistente en la modificación de la naturaleza y las características del estímulo a ser aplicado a los pacientes durante una prueba de medición de T.R..
- 2) **Aplicación de la Prueba de T.R.** Consistente en la obtención del tiempo de reacción (emisión de estímulo - percepción - respuesta motora).

Entonces el diagrama a bloques primario (FIG.III.10) del sistema puede desglosarse basándose en estos dos procesos, en dos módulos digitales principales que llamaremos Módulo de Definición de Estímulos (MDE) y Módulo de Registro de T.R. (MRTR). (FIG.III.11).

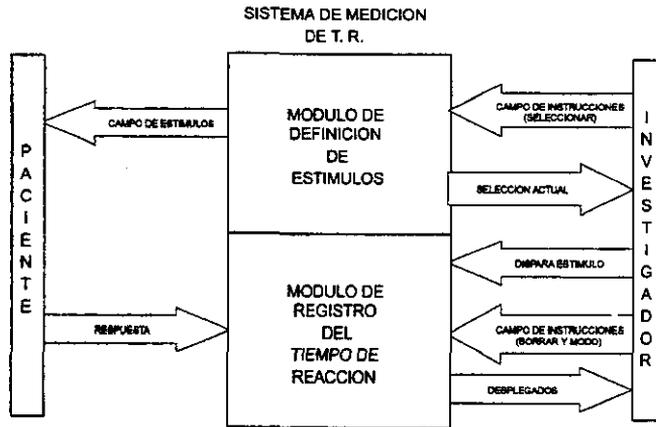


FIG.III.11. Diagrama modular primario del sistema digital de T.R

De la FIG.III.11 podemos derivar el diagrama de la FIG.III.12.A que muestra las entradas y las salidas de cada módulo y la comunicación intermodular de forma más detallada de acuerdo a los siguientes requerimientos generales considerados para el diseño:

- Capacidad del sistema de emitir estímulos Visuales, Auditivos y Somatosensoriales.
- Registro del valor del tiempo de reacción y del número de pruebas de T.R. realizadas.
- Capacidad de modificar los siguientes parámetros del estímulo: tipo, duración, calidad e intensidad.
- Capacidad de elección del canal de estimulación.
- Capacidad de realizar pruebas de medición de tiempos de reacción a estímulos de calidad específica (discriminación del estímulo).

#### Señales y operación del MRTR

El MRTR puede trabajar en dos modos distintos: El *modo normal* define la operación en la cual el módulo siempre iniciará la cuenta del reloj al mismo tiempo que un estímulo sensorial es enviado al paciente, no importando la calidad sensorial de éste.

El Modo(DSE) llamado *modo de discriminación del estímulo* define la operación en la que el módulo inicia la cuenta del reloj *sólo* cuando un estímulo con cierta calidad sensorial previamente especificada por el investigador llamado *estímulo blanco* es enviado al paciente. Cualquier otro estímulo enviado con calidad distinta a la del estímulo blanco no iniciará la cuenta del reloj.

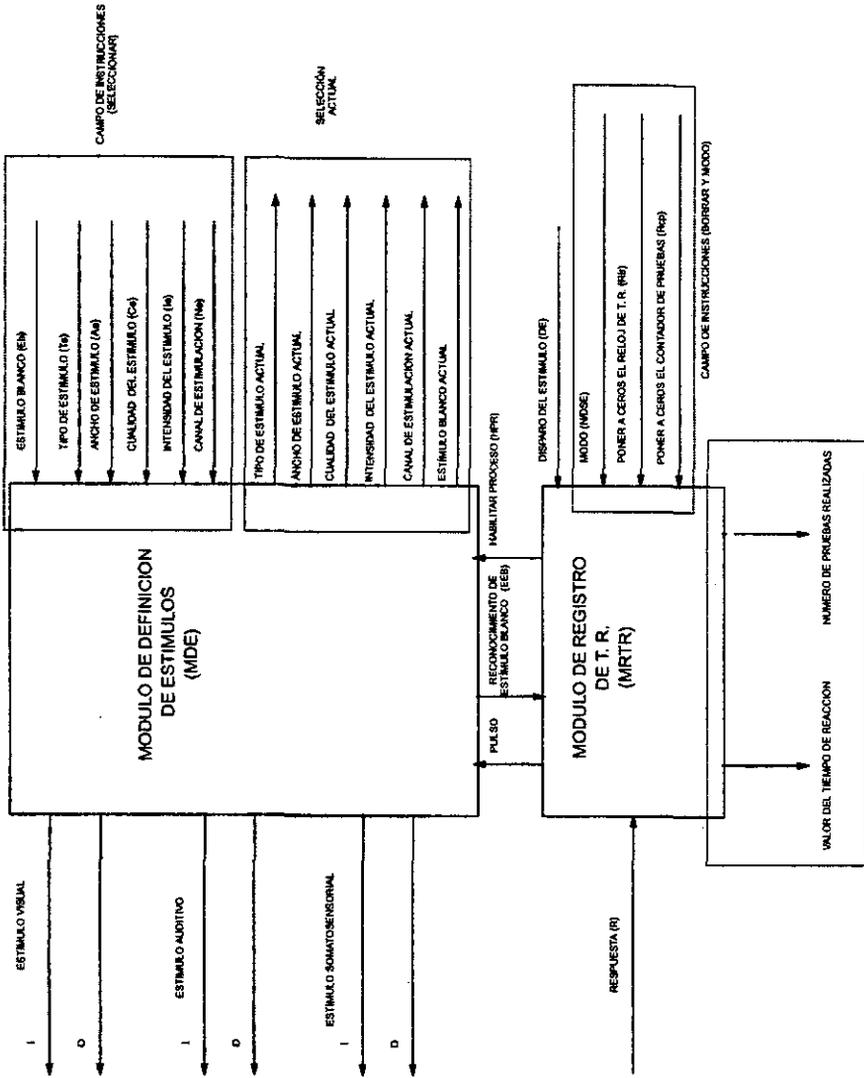


FIG. 12. DIAGRAMA A BLOQUES QUE MUESTRA LA INTERRELACION DE LOS MODULOS DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE T.R. Y SU RELACION CON EL EXTERIOR

A continuación se enumeran las señales de comunicación del MRTR:

1. **Campo de instrucciones (Borrar y Modo).** Esta constituido por:
  - **Modo(N/DSE).** Esta señal permite seleccionar el modo de operación del módulo a normal (N) ó de discriminación del estímulo (DSE).
  - **Poner a ceros el reloj de T.R. (Rtr).** Esta señal permite borrar el reloj de medición del tiempo de reacción.
  - **Poner a ceros el contador de pruebas (Rcp).** Esta señal permite borrar el contador de pruebas de medición de T.R. realizadas.
2. **Desplegados.** Están formados por dos indicadores numéricos luminosos que muestran el valor del tiempo de reacción encontrado y el número de pruebas de T.R. realizadas.
3. **Disparo del estímulo (DE).** Esta señal digital genera un pulso de salida que permite disparar a su vez un estímulo sensorial al mismo tiempo que inicia la cuenta del reloj de medición del T.R. para cualquier cualidad del estímulo en el modo normal (N) ó para estímulos con una cualidad específica en el modo de discriminación del estímulo (DSE). En cualquier otro caso, DE ocasiona sólo la emisión del estímulo.
4. **Respuesta (R).** Esta señal digital detiene la cuenta del reloj de medición del T.R. (Respuesta Motora).
5. **PULSO.** Señal digital intermodular que se utiliza para excitar el MDE y forzarlo a emitir un estímulo.
6. **Habilitar Proceso (HPR).** Señal digital intermodular que permite indicar al MDE en que momento puede responder a su propio campo de instrucciones (selecciones).
7. **Reconocimiento del estímulo blanco (EEB).** Entrada digital intermodular generada por el MDE para reportar al módulo si el estímulo actualmente seleccionado es un estímulo blanco.

N/DSE	EEB	DE	R	PULSO	HPR	Condición	Comentario	
1	X	0	0	0	1	(a)	Condiciones Iniciales	MODO (N)
1	X	1	0	1	0	(b)	Emisión del estímulo	
1	X	0	0	1	0	(c)	Después de (b)	
1	X	0	1	0	1	(d)	Respuesta Motora	
1	X	1	1	0	1	(e)	Después de (b) ó de (d)	
1	X	1	0	0	1	(f)	Después de (e)	
0	1	0	0	0	1	(a)	Condiciones Iniciales	MODO (DSE)
0	1	1	0	1	0	(b)	Emisión del estímulo	
0	1	0	0	1	0	(c)	Después de (b)	
0	1	0	1	0	1	(d)	Respuesta Motora	
0	1	1	1	0	1	(e)	Después de (b) ó de (d)	
0	1	1	0	0	1	(f)	Después de (e)	
0	0	0	X	0	1	—	El estímulo actualmente seleccionado no tiene la cualidad del estímulo blanco	
0	0	1	X	1	0	—		

FIG.III.12.B. Tabla de verdad que muestra la operación general del MRTR.

La tabla de la FIG.III.12.B resume las condiciones para la generación de la señal PULSO y HPR. Obsérvese que el modo DSE se define con N/DSE=0. Primeramente podemos ver que bajo esta condición, si EEB=0, el MRTR no podrá iniciar la cuenta del reloj de T.R cuando se dispara un estímulo y se cumple

únicamente que  $PULSO=DE$  y  $HPR=DE'$ .

La relación entre las entradas DE y R', y las salidas PULSO y HPR son similares para la condición  $N/DSE=1$  (modo normal) ó si se cumple que  $N/DSE=0$  y  $EEB=1$  (el estímulo actual es un estímulo blanco en modo de discriminación). A continuación mostraremos la forma de operación del módulo bajo estas condiciones.

**Operación del MRTR bajo  $N/DSE=1$  ó  $N/DSE=0$  y  $EEB=1$**

De la tabla de la FIG.III.12.B obtenemos una nueva tabla (FIG.III.13) que resume la operación del MRTR dentro de la operación normal ó cuando se dispara un estímulo blanco.

DE	R'	PULSO	HPR	Condición	Comentario
0	0	0	1	(a)	Condiciones Iniciales
1	0	1	0	(b)	Emisión del estímulo
0	0	1	0	(c)	Después de (b)
0	1	0	1	(d)	Respuesta Motora
1	1	0	1	(e)	Después de (b) ó de (d)
1	0	0	1	(f)	Después de (e)

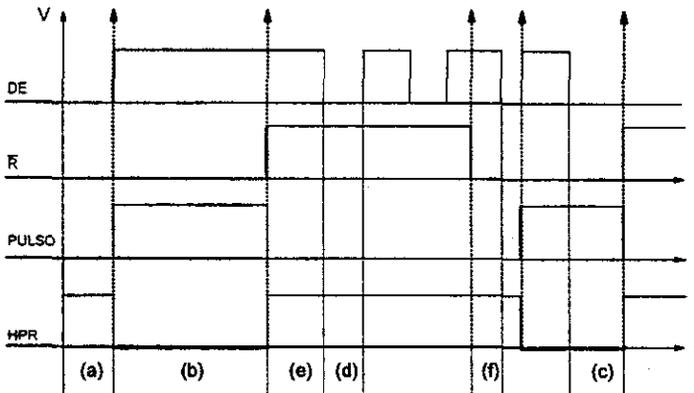
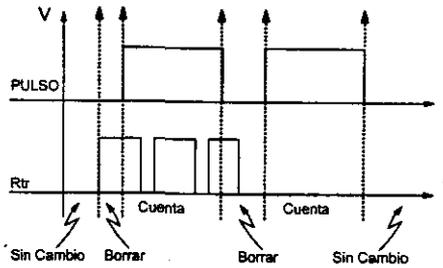


FIG.III.13 Tabla de verdad y diagrama de tiempo ideal para la generación de PULSO Y HPR bajo  $N/DSE=1$  ó  $N/DSE=0$  y  $EEB=1$ .

La FIG.III.13. muestra que DE y R' son activas cuando se encuentran en nivel alto (1). Una prueba de T.R se inicia si existe una transición de 0 a 1 en la señal PULSO. Este cambio puede suceder si y solo si  $R'=0$  en ese momento. La condición  $PULSO=1$  se mantiene, indicando con ello que el MRTR esta en espera de la respuesta del paciente, esto es,  $R'=1$ . Siempre que ocurre una transición de la señal R' de 0 a 1, PULSO = 0 no importando el nivel en DE. Se dice entonces que MRTR se encuentra en reposo y listo para el inicio de otra prueba de T.R.

PULSO	Rtr	Reloj de T.R.
1	X	CUENTA
1	X	CUENTA
0	0	SIN CAMBIO
0	1	BORRAR

(A)



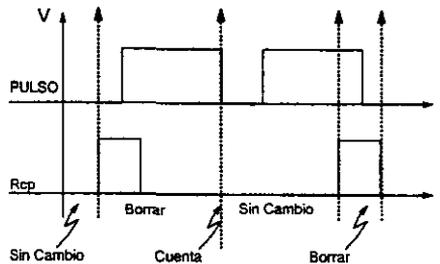
(B)

FIG.III.14. Tabla de verdad (A) y Diagrama de tiempo (B) para la lógica de conteo del reloj de T.R.

La operación del reloj de T.R. esta definida a través de las señales PULSO y Rtr (FIG.III.14). Nótese que Rtr se encuentra activa cuando esta en nivel alto (1). Si se inicia una prueba de medición de T.R. (MRTR en espera), el reloj se bloquea de tal forma que no puede ser borrado hasta que la prueba termine (MRTR en reposo); esto es, el módulo se inhabilita para responder a cualquier cambio de Rtr cuando PULSO =1.

Rcp	PULSO	Contador de Pruebas
0	⌋	CUENTA
1	X	BORRAR

(A)



(B)

FIG.III.15. Tabla de verdad (A) y Diagrama de tiempo (B) para la lógica de conteo del contador de pruebas

La FIG.III.15.A muestra la tabla de verdad que define la operación del contador de pruebas. Éste se incrementa con cada transición negativa de la señal PULSO (respuesta del paciente) indicando con ello que se ha completado el binomio emisión-respuesta. La señal Rcp se define activa cuando esta en nivel alto (1). Nótese que el contador puede ser borrado independientemente del estado en que se encuentre el MRTR. (FIG.III.15.B)

### Señales y operación del MDE

**Campo de Instrucciones (Selección).** Esta constituido por:

- **Tipo de estímulo (Te).** Permite modificar el tipo de estímulo aplicado en una prueba de T.R. Existen tres tipos posibles: Visual, Auditivo y Somatosensorial (Tacto).
- **Ancho de estímulo (Ae).** Permite cambiar la duración o el ancho del estímulo aplicado.
- **Cualidad del estímulo (Ce).** Permite establecer la cualidad sensorial del estímulo aplicado.

- **Intensidad del estímulo (Ie).** Permite variar la energía del estímulo aplicado mediante el accionamiento de potenciómetros.
- **Canal de estimulación (Ne).** Permite determinar el hemisferio cerebral a estimular mediante el accionamiento de un interruptor.
- **Estímulo Blanco (Eb).** Permite seleccionar la cualidad del estímulo blanco para pruebas de discriminación de estímulos.

**Selección Actual.** Esta formada por señales luminosas que muestran los parámetros de estimulación presentes ó actualmente seleccionados. Cada flecha en el diagrama de bloques (FIG.III.12.A) representa de forma conceptual estas salidas. Existen señales de visualización para los siguientes parámetros:

1. Tipo de estímulo.
2. Ancho de estímulo.
3. Cualidad sensorial.
4. Intensidad del estímulo.
5. Canal de estimulación.
6. Estímulo blanco

**Campo de estímulos.** Es el conjunto de estímulos sensoriales aplicados a los pacientes. Estos estímulos son de naturaleza unilateral; esto es, pueden ser aplicados ya sea a la derecha (D) ó a la izquierda (I) del campo de percepción sensorial.

**Reconocimiento del estímulo blanco (EEB).** Señal digital intermodular para indicar al MRTR que el estímulo actualmente seleccionado es un estímulo blanco.

**Entrada de pulso.** Entrada digital intermodular proveniente del MRTR que permite excitar al módulo para forzarlo a emitir un estímulo sensorial.

**Entrada de Habilitación de proceso.** Cuando esta señal digital de entrada se encuentra activa, el MDE puede responder a cualquier cambio de las señales de su propio campo de instrucciones.

HPR	Te	Ae	Ce	Ie	Ne	Eb	Parámetros de estimulación
1	┘	X	X	X	X	X	Modifica Tipo de estímulo
1	X	┘	X	X	X	X	Modifica Ancho de estímulo
1	X	X	┘	X	X	X	Modifica Cualidad de estímulo
0	X	X	X	X	X	X	Tipo, Ancho y Cualidad sin cambio
X	X	X	X	(P)	X	X	Modifica Intensidad de estímulo
X	X	X	X	X	(I)	X	Modifica Canal de estimulación
X	X	X	X	X	X	┘	Modifica Cualidad del Estímulo Blanco

FIG.III.16. Tabla de verdad del MDE para la modificación de parámetros. (I)= cambio por interruptor, (P)=cambio por potenciómetro

La tabla de verdad de la FIG.III.16 resume la selección. Ella indica que una modificación en el tipo, el ancho y la cualidad del estímulo ocurre con cada transición negativa de las señales del campo de instrucciones siempre y cuando la señal HPR = 1. En caso de que HPR=0, el MDE se encontrará

deshabilitado para seleccionar alguno de estos parámetros.

El diagrama de tiempo de la FIG.III.17 muestra que el MDE emite un estímulo esencialmente con cada transición positiva de la señal PULSO (excitación). La duración del estímulo es una función del ancho seleccionado.

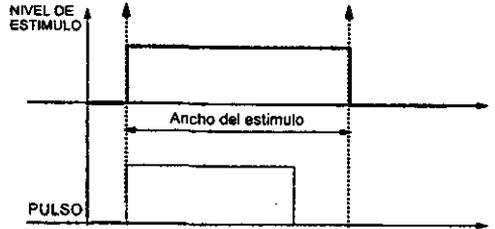


FIG.III.17 Diagrama de tiempo ideal para la excitación del MDE

La señal EEB estará en alto (1) siempre que la cualidad del estímulo actual sea igual a la cualidad del estímulo blanco; en caso contrario EEB=0.

El diagrama de la FIG.III.18 muestra la operación conjunta del MRTR y el MDE. El MRTR básicamente es un circuito secuencial asíncrono que emite un pulso de excitación y que al mismo tiempo puede iniciar ó no una cuenta de tiempo mientras que el MDE es un circuito asíncrono que es forzado a emitir un estímulo con ciertos parámetros previamente seleccionados.

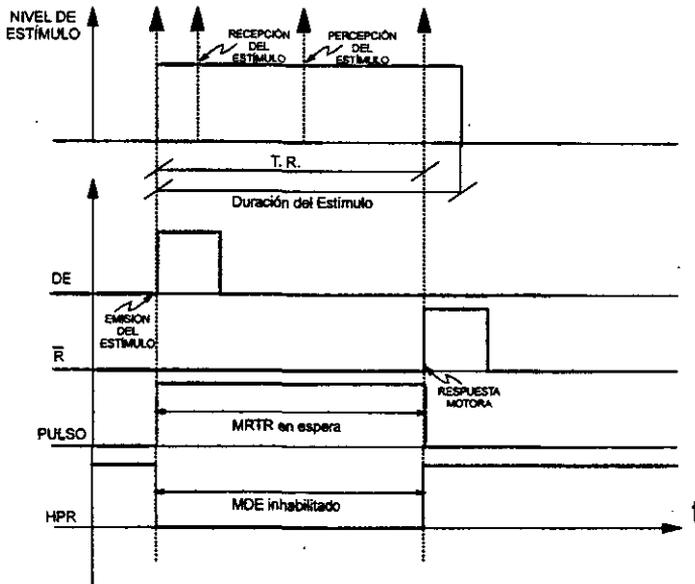


FIG.III.18. Diagrama de Tiempo ideal de la operación del MRTR y el MDE.

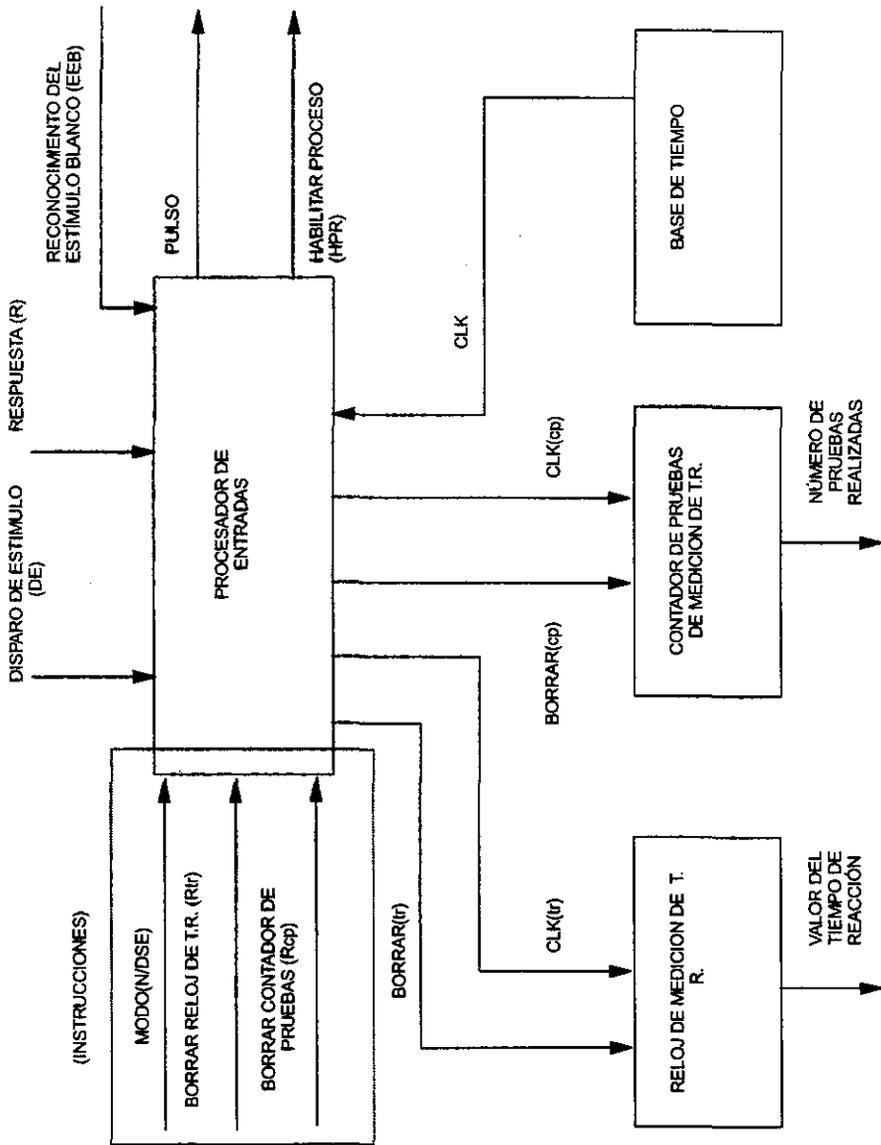


FIG.III.19. ESTRUCTURA INTERNA DEL MRTR

**ESTRUCTURA INTERNA DEL MÓDULO DE REGISTRO DEL T.R.**

Particionemos el módulo de registro de T.R. en sus sub-módulos tal como se muestra el diagrama a bloques de la FIG.III.19. A continuación se da una descripción de cada sub-módulo:

**Base de Tiempo**

Este sub-módulo se encarga de generar pulsos de frecuencia determinada necesarios para medir el tiempo de reacción. La FIG.III.20 muestra la configuración interna de la base de tiempo.

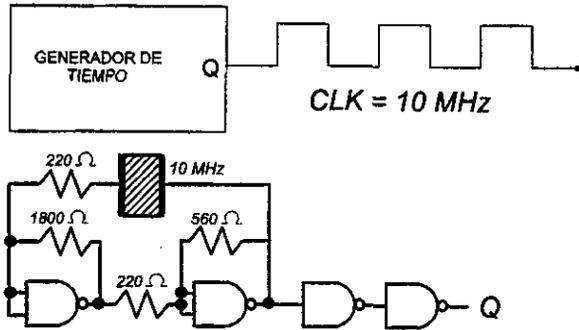


FIG.III.20. Construcción del generador de tiempo del MRTR

Consta de un multivibrador astable diseñado para ofrecer una frecuencia de 10 Megahertz. Para la contabilización de intervalos de tiempo es necesario conseguir una frecuencia constante y estable, por lo que el multivibrador es controlado mediante un cristal de cuarzo. Las compuertas NAND utilizadas son del tipo 74LS00.

**Reloj de medición de T.R.**

Este sub-módulo se encarga de contabilizar el tiempo de reacción. Esta constituido de tres bloques.(FIG.III.21).

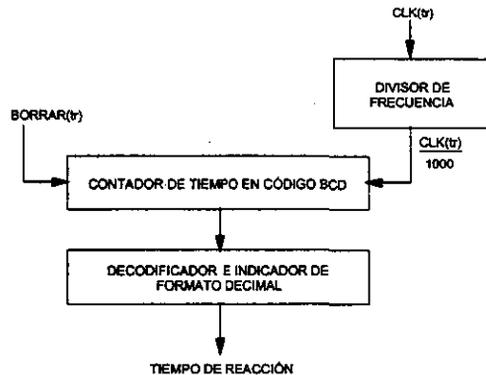


FIG.III.21. Diagrama bloques del reloj de medición de T.R..

La FIG.III.22 muestra la construcción del divisor de frecuencia. Esta formado por tres contadores de década 74LS90 conectados en cascada. Cada contador se configura para dividir entre 10 la señal de la base de tiempo. El reloj de medición de T.R. debe tener una precisión de diezmilésimas de segundo, por lo que la señal de salida  $CLK(tr)/1000$  se fija finalmente en 10 KHz.

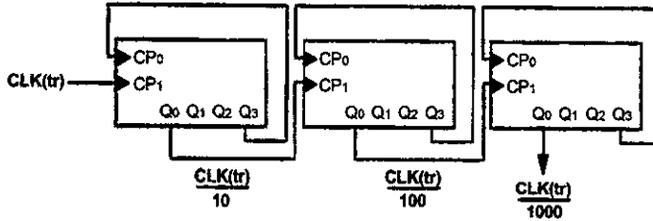


FIG.III.22 Diagrama lógico del divisor de frecuencia.  $CLK(tr)=10MHz$

El valor del T.R. tiene un máximo de cuatro dígitos para la parte entera y un dígito para la parte decimal por lo que para satisfacer esta configuración, el segundo bloque se construye en base a un contador multi-etapa de disparo de filo positivo formado a su vez por cinco contadores de código BCD de cuatro bits cada uno del tipo 74LS192 conectados en cascada (FIG.III.23). Las entradas para borrar de forma asincrónica a los contadores (MR) se unen en una sola línea común llamada Borrar. MR es activa cuando es igual a 1.

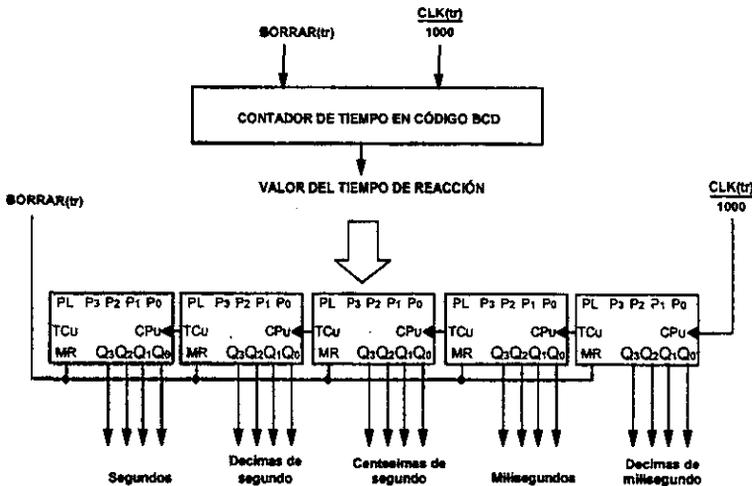


FIG.III.23. Diagrama a bloques y diagrama lógico del contador de tiempo de T.R.

El tercer bloque codifica el valor de T.R. para su exhibición en formato decimal. Para ello, el estado de cada contador de BCD en FIG.III.23 se enlaza a un bloque lógico formado por un decodificador de código BCD a 7 segmentos del tipo 74LS247 y un indicador numérico de ánodo común. (FIG.III.24). R1 a R7 limitan la corriente de los indicadores a cambio una iluminación aceptable.

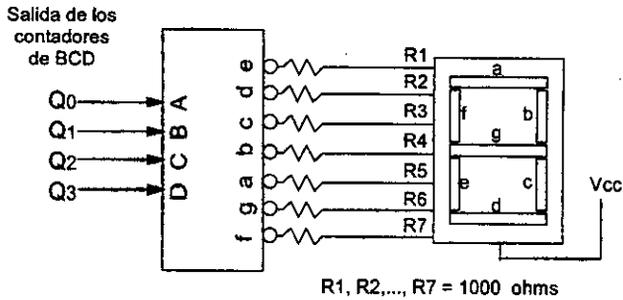


FIG.III.24. Configuración con decodificador e indicador luminoso para exhibición del valor de T.R. en decimal

**Contador de pruebas**

Este sub - módulo contabiliza el número de pruebas de medición de tiempo de reacción realizadas. (FIG.III.25). Este número tiene un máximo de tres dígitos (999) por lo que de forma análoga al reloj de T.R., se construye en base a un contador multi-etapa de disparo de filo positivo formado a su vez por tres contadores de década en cascada de 4 bits del tipo 74LS192. Las entradas para borrar de forma asíncrona a los contadores (MR) se unen en una sola línea común llamada Borrar. La señal MR es activa cuando es igual a 1. Las salidas de cada contador se enlazan a un bloque lógico como el de la FIG.III.24 para la exhibición del valor en formato decimal.

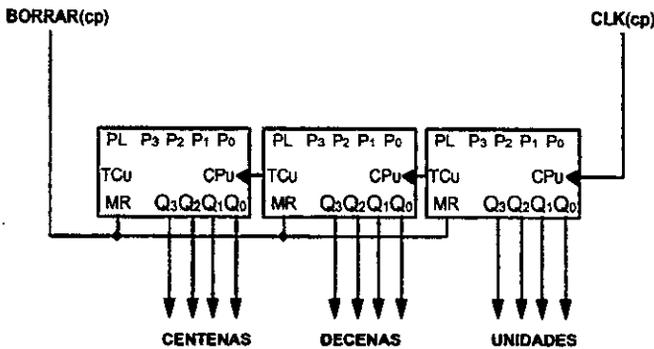


FIG.III.25. Diagrama lógico del contador de pruebas

**Procesador de entradas**

Este sub - módulo se encarga de la manipulación lógica de las señales de entrada provenientes del exterior para la generación de las señales internas requeridas por los demás sub-módulos y las señales de la comunicación con el MDE.

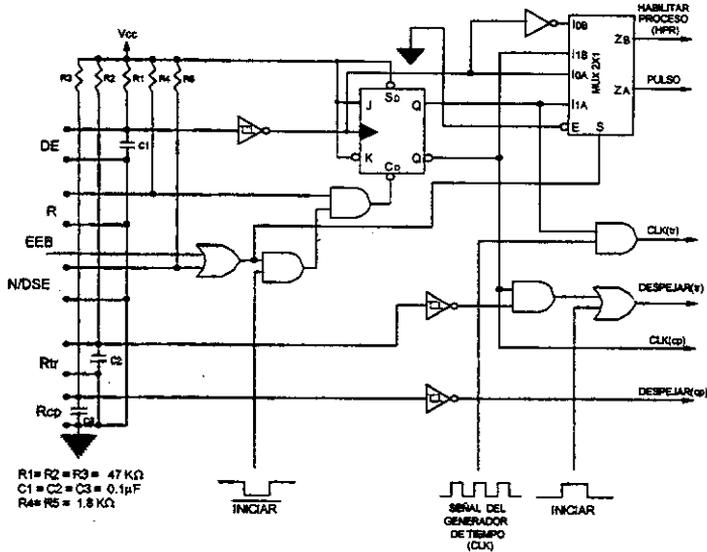


FIG.III.26. Diagrama lógico del procesador de entradas

La FIG.III.26 muestra el diagrama lógico del procesador de entradas. Las señales DE, Rtr y Rcp son seleccionadas a través de interruptores conectados a circuitos compensadores que evitan errores de la señal debidos al rebote. Estos compensadores están formados cada uno por un circuito RC y un inversor de entrada Schmitt del tipo 74LS14.

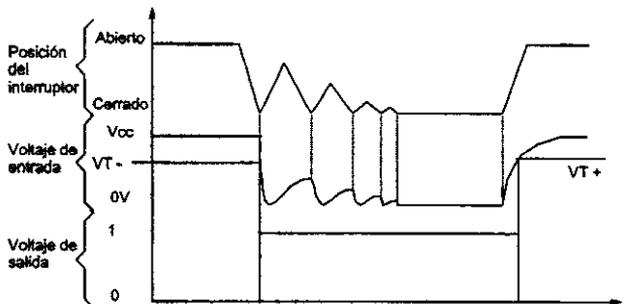


FIG.III.27. Diagrama de tiempo del circuito compensador del rebote

La FIG.III.27 muestra el funcionamiento del circuito antirrebote. Cuando el interruptor se encuentra abierto, el capacitor C1 se carga a través de R1 hasta alcanzar en cierto periodo de tiempo un nivel de voltaje que lleva a la salida del inversor a un nivel bajo (0). Cuando el interruptor se cierra, el capacitor entrega rápidamente su carga en virtud del corto circuito hasta que el voltaje desciende a un nivel ( $VT = 1.1V$ ) que dispara al inversor de modo que su salida cambia a un nivel alto (1). El interruptor puede rebotar unas cuantas

veces después de que se abre nuevamente, sin embargo, la velocidad de carga del capacitor es lo suficientemente lenta comparada con la velocidad de cambio del interruptor durante el rebote de forma que no puede alcanzar el nivel de voltaje ( $V_T \approx 2V$ ) de disparo del inversor hasta que el interruptor deja de oscilar. De esta forma se obtiene un pulso único y limpio a la salida.

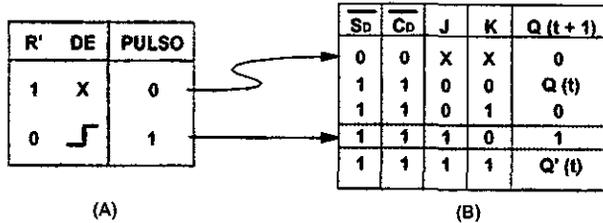


FIG.III.28. (A) Tabla resumida de la interacción de R, DE y PULSO. (B) Tabla de verdad para la operación de un flip-flop JK (circuito síncrono) con entradas directas

Para la obtención de la salida PULSO y HPR a partir de DE y R bajo el modo normal ó durante la emisión de estímulos blanco, resumimos la tabla de la FIG.III.13 y obtenemos la tabla de la FIG.III.28. En esta nueva tabla puede observarse que PULSO es llevado a un nivel alto con cada transición positiva de DE siempre que  $R'=0$ . Cuando  $R'=1$  invariablemente  $PULSO=0$ . Este modo de operación se configura mediante un flip-flop JK con reloj actuando como un circuito secuencial asíncrono con la señal DE aplicada a la entrada de reloj y R sobre la entrada de despeje directo (CD), (FIG.III.28.B). El flip-flop es de disparo en filo positivo del tipo 74LS109 y tenemos que:

$$PULSO=Q \text{ y } HPR=Q'$$

y para la condición restante  $N/DSE=0$  y  $EEB=0$  tenemos que:

$$PULSO=DE \text{ y } HPR=DE'$$

La selección entre una y otra condición se realiza a través de un MUX 2X1 del tipo 74LS157.

Mediante una compuerta AND del tipo 74LS08, la salida Q del flip.flop actúa como un bloqueador de los pulsos de tiempo que alimentan al reloj de T.R. Si  $Q = 1$  el reloj cuenta; de otra forma,  $CLK(tr)=0$ :

$$CLK(tr) = CLK \cdot Q$$

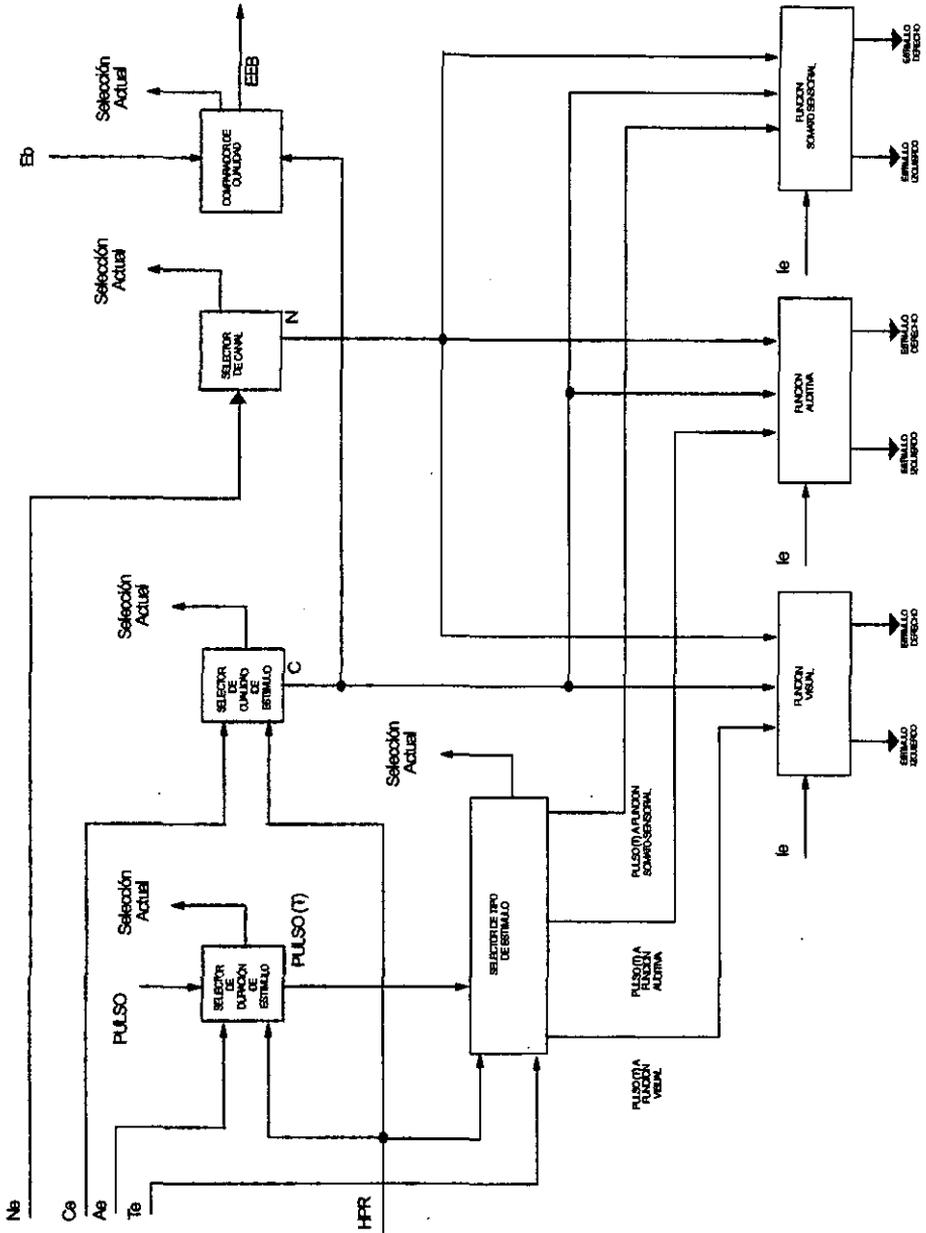
El reloj de T.R. no puede ser despejado mientras se encuentra contando; por lo que Rtr se bloquea mediante la señal Q' a través de una compuerta AND. La señal INICIAR se aplica a través de una compuerta OR para despejar al reloj cuando se polariza el sistema por lo que:

$$DESPEJAR(tr) = (Rtr \cdot Q') + INICIAR$$

El borde positivo de la señal Q' se utiliza para incrementar al contador de pruebas en virtud de que  $PULSO'=Q'$  durante el envío de estímulos blancos en el modo DSE ó bajo la operación normal del MRTR. (FIG.III.15).

La señal INICIAR' también se utiliza para despejar al flip-flop para eliminar su estado indeterminado. Reuniendo todas las condiciones se obtiene la ecuación de boole para la entrada CD del flip-flop:

$$CD' = R \cdot (INICIAR' \cdot (EEB + N/DSE))$$



## ESTRUCTURA INTERNA DEL MÓDULO DE DEFINICIÓN DE ESTÍMULOS

Particionemos el MDE en sus sub-módulos tal como se muestra el diagrama a bloques de la FIG.III.28.A. A continuación se describe cada uno de los sub-módulos.

### Selector de Ancho de Estímulo

Este sub-módulo cumple la función de seleccionar la duración ó el ancho del estímulo. La FIG.III.29 muestra el diagrama a bloques y el diagrama lógico.

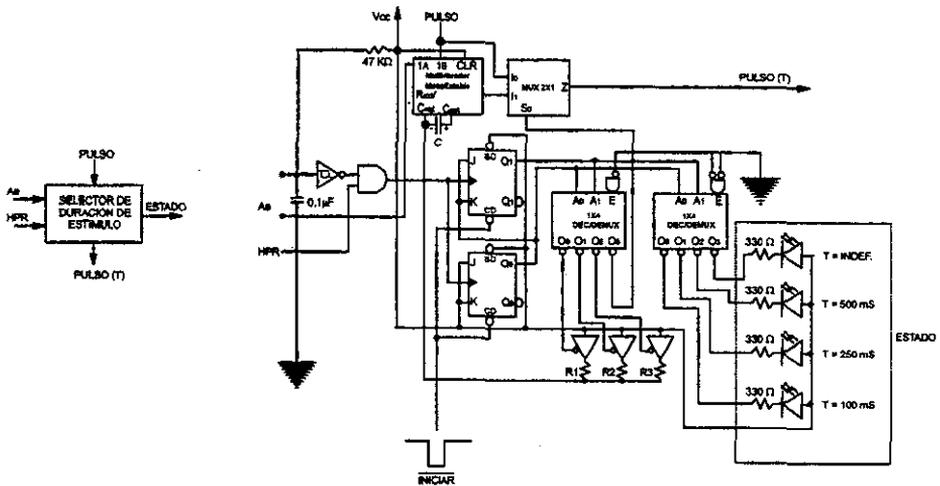


FIG.III.29. Estructura Interna del sub-módulo selector del ancho de estímulo

Puede notarse que la señal Ae es seleccionada a través de un interruptor conectado a un circuito compensador del rebote. Como la señal Ae no debe actuar mientras esta en curso una prueba de medición de T.R., se bloquea en base al nivel de la señal HPR mediante una compuerta AND. Para realizar la selección se diseña un arreglo lógico formado por un contador binario de dos bits basado en flip-flops JK de disparo en filo negativo del tipo 74LS76, un decodificador doble de 2X4 del tipo 74LS155 y tres buffers de tercer estado del tipo 74LS125.

La señal Ae se conecta a la entrada de reloj del contador para el conteo de las pulsaciones. Para el diseño de este se utiliza la *tabla de excitación* de un flip-flop JK (FIG.III.30.A) En ella se listan los valores que deben existir en las entradas para producir un cambio de estado específico del circuito a la ocurrencia de un pulso de reloj. Basándose en ella y en una inspección de la transición de los estados en cada cuenta (de  $Q(t)$  a  $Q(t+1)$ ), se obtiene la tabla de excitación del contador requerido (FIG.III.30.B).

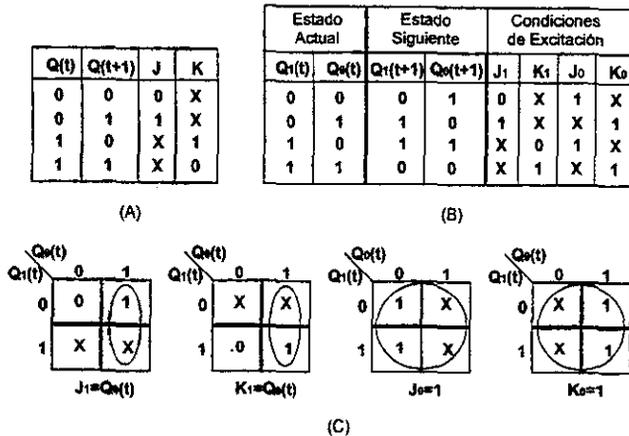


FIG.III.30. (A) Tabla de excitación del flip-flop JK. (B) Tabla de excitación para el contador binario de dos bits basado en flip-flops JK. (C) Configuración de las entradas.

La FIG.III.30.C muestra los mapas que simplifican las funciones de Boole de entrada de los flip-flops en donde las entradas de excitación solamente son los estados. El resultado es el diagrama lógico mostrado en FIG.III.29. Nótese que la señal INICIAR' actúa sobre las entradas de despeje directo de los flip-flops para eliminar el estado indeterminado cuando se polariza el circuito.

La salida del contador se conecta a un decodificador cuyas salidas actúan a su vez sobre las entradas de habilitación de los buffers de tal forma que solamente una de las tres resistencias no se encuentra en circuito abierto, configurando con ello el circuito externo RC del multivibrador monoestable no redispensible del tipo 74LS221. Este multivibrador es disparado por la transición positiva de la señal PULSO obteniéndose a la salida un pulso de duración limitada (T). El valor del ancho del pulso esta dado por la siguiente fórmula:

$$T = \ln 2 RC$$

donde  $R = R_1, R_2, R_3$ . Para el diseño se fija el valor de  $C = 100 \mu F$ . Despejando para R y calculando las resistencias para cada ancho requerido tenemos:

$$T_1 = 100 \text{ mS} : R_1 = 1.4 \text{ k}\Omega$$

$$T_2 = 250 \text{ mS} : R_2 = 3.6 \text{ k}\Omega$$

$$T_3 = 500 \text{ mS} : R_3 = 7.2 \text{ k}\Omega$$

La cuarta selección ( $T_4$ ) consiste en un pulso cuya duración es igual a la duración de la señal de entrada PULSO. Bajo la condición  $N/DSE = 1$  ó  $N/DSE = 0 : EEB = 1$  esto significa el tiempo entre el disparo y la respuesta (inhibición de estímulo por  $R'$ ) y bajo la condición  $N/DSE = 0 : EEB = 0$ , el tiempo que dure en alto la señal DE.

Para esta obtener esta capacidad se agrega un multiplexor de  $2 \times 1$  del tipo 74LS157 que selecciona entre el pulso del multivibrador y la señal PULSO. La salida del multiplexor por generalización entrega un pulso de duración limitada llamado PULSO(T).

Finalmente, para visualizar la opción seleccionada se utiliza un segundo decodificador a cuyas salidas se conecta un grupo de LED's. Cada resistencia limita la corriente de consumo del LED a cambio de una iluminación aceptable.

### Selector del Tipo de Estímulo

Este sub-módulo cumple la función de seleccionar el tipo de estímulo utilizado en una prueba de T.R. El diagrama a bloques y el diagrama lógico pueden verse en la FIG.III.31.

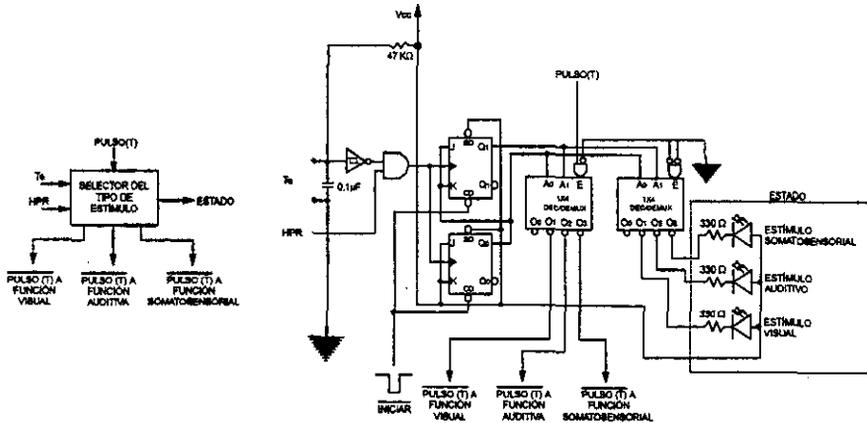


FIG.III.31. Diagrama a bloques y diagrama lógico del sub-módulo de selección del tipo de estímulo

La señal  $T_e$  es seleccionada mediante un interruptor conectado a un circuito compensador de rebote. Nótese que para realizar la selección se utiliza la misma estructura lógica formada por el contador binario y los dos decodificadores descrita en el selector del ancho de pulso. La señal  $PULSO(T)$  se conecta a la entrada normal de la habilitación (E) del decodificador y entonces este puede re-direccionarla a alguno de los sub-módulos de estimulación. Para iniciar al contador binario cuando se polariza el circuito, hacemos que la señal  $INICIAR'$  afecte a las entradas de despeje directo de los flip-flops. Para visualizar la opción seleccionada se utiliza un decodificador a cuyas salidas se conecta un grupo de LED's. Cada resistencia limita la corriente de consumo del LED a cambio de una iluminación aceptable.

### Selector de la cualidad del estímulo

Este sub-módulo se encarga de elegir la cualidad del tipo de estímulo activo.(FIG.III.32) La señal  $C_e$  es seleccionada con un interruptor conectado a un circuito compensador de rebote. Una estructura lógica única contador binario-decodificador usada en los selectores de ancho y tipo de estímulo, sirve para seleccionar la cualidad de todos los tipos de estímulo posibles, por lo que la salida de los flip-flops ( $C_0, C_1$ ) se conecta a cada función de estimulación. Para iniciar al contador binario cuando se polariza el circuito, hacemos que la señal  $INICIAR'$  afecte a las entradas de despeje directo de los flip-flops. Para visualizar la opción seleccionada se utiliza un decodificador a cuyas salidas se conecta un grupo de LED's. Cada resistencia limita la corriente de consumo del LED a cambio de una iluminación aceptable.

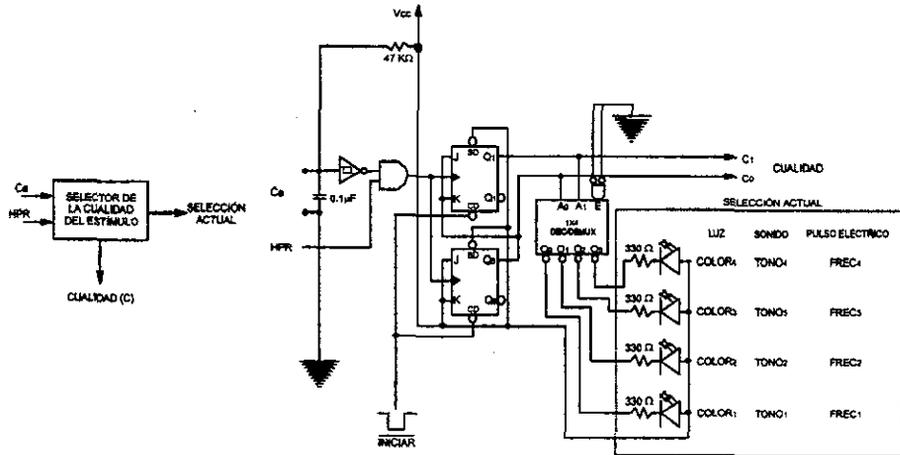


FIG.III.32. Diagrama de bloques y diagrama lógico del sub-módulo de selección de calidad

**Selector del canal de estimulación**

Este circuito elige la situación del estímulo con respecto al paciente (FIG.III.33). Puede seleccionarse una estimulación izquierda ó derecha (unilateral). Consta de un interruptor de doble tiro y 2 polos que direcciona los estímulos. El flip-flop RS determina el nivel de la señal que controla el canal del estímulo visual y auditivo. La salida negada del flip-flop se utiliza para la visualización del canal activo. Cada LED se conecta con su respectiva resistencia de limitación a cambio de una iluminación aceptable.

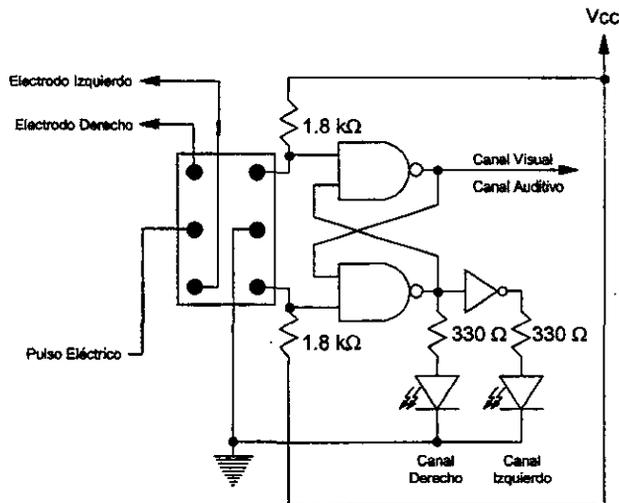


FIG.III.33 Selector del canal de estimulación



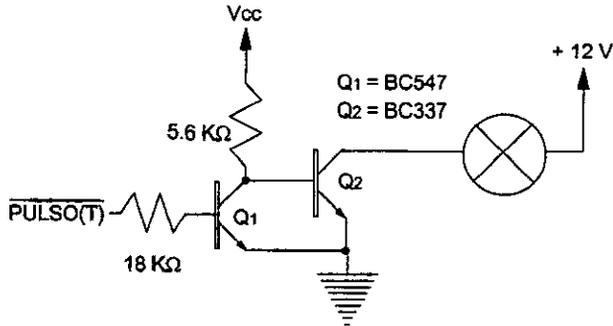


FIG.III.35. Circuito de conmutación para el estimulador visual.

Normalmente las salidas del Demux se encuentran en el estado 1. El estado 1 en la base de  $Q_1$  ocasiona que este vaya a saturación haciendo que la base de  $Q_2$  tenga un potencial de tierra. El 0 en la base de  $Q_2$  permite mantenerlo en corte y la lámpara por tanto se encontrará apagada.

Cuando el estado en la base de  $Q_1$  cambia a 0, este se pondrá en corte estableciéndose un potencial de  $V_{cc}$  en la base de  $Q_2$ . Este nivel 1 ocasiona que  $Q_2$  vaya a saturación y la lámpara se enciende.

Un potenciómetro  $P_A = 1k\Omega$  permite la variación de la intensidad del estímulo visual (0% al 100% del máximo).

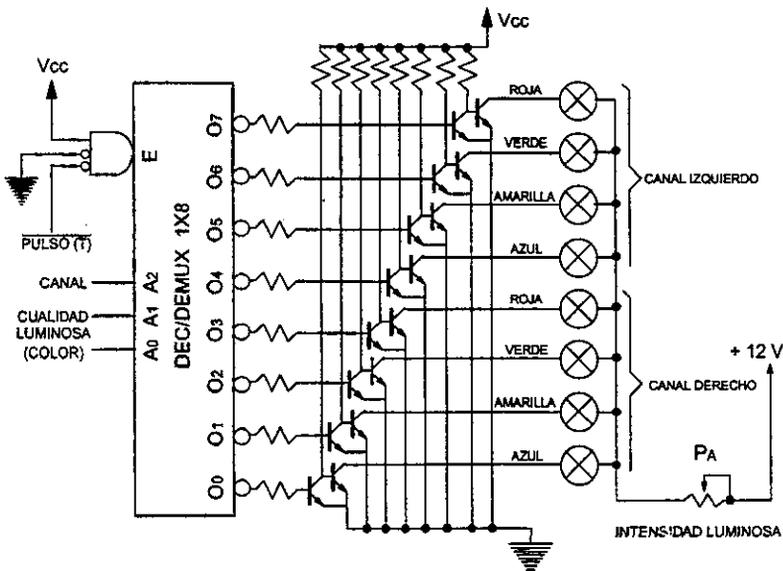


FIG.III.36. Diagrama lógico del estimulador visual

**Estimulador somatosensorial**

Este circuito produce un pulso eléctrico que estimula la piel con las características especificadas por las entradas de selección (FIG.III.38). Consiste de un multivibrador astable construido a partir de un temporizador del tipo 555. El circuito puede generar una señal de reloj con cuatro frecuencias distintas a través de un arreglo lógico formado por un Decodificador de 2X4 del tipo 74LS139 y cuatro inversores de tres estados del tipo 74LS125. Cada salida del decodificador actúa sobre las entradas de habilitación de los inversores de tal forma que sólo un valor específico de capacitancia ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  ó  $C_4$ ) se conecta al circuito externo del multivibrador en función del valor de las entradas de selección de la cualidad sensorial. Las frecuencias se fijan en 20 Hz, 40 Hz, 60 Hz y 75 Hz. Para el cálculo de las capacitancias utilizamos la fórmula de frecuencia del 555:

$$f = 1.44 / C(R_1 + 2R_2)$$

despejando C y fijando  $R_2 = 6700 \Omega$  y  $R_1 = 1000 \Omega$  tenemos:

$$C_1 = 1.44 / (20 \text{ Hz} \times 14400 \Omega) = 5 \mu\text{F}$$

$$C_2 = 1.44 / (40 \text{ Hz} \times 14400 \Omega) = 2.5 \mu\text{F}$$

$$C_3 = 1.44 / (60 \text{ Hz} \times 14400 \Omega) = 1.7 \mu\text{F}$$

$$C_4 = 1.44 / (75 \text{ Hz} \times 14400 \Omega) = 1.33 \mu\text{F}$$

La salida del astable se conecta a un multivibrador monoestable no redispersable de disparo en borde positivo del tipo 74LS221 que tiene la función de fijar el ancho del periodo alto de la señal de salida del 555 dentro de un rango de  $100 \mu\text{s} - 2.5 \text{ ms}$ . (FIG.III.37).  $T_w = \ln 2 R_3 C_5$ , por lo que fijamos  $R_3 = 1.5 \text{ k}\Omega$ ,  $P_1 = 100 \text{ k}\Omega$ , y  $C_5 = 0.1 \mu\text{F}$ .

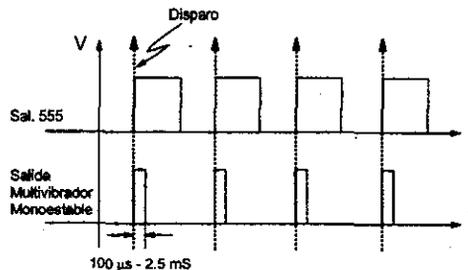


FIG.III.37. Acortamiento del periodo alto en el estimulador somatosensorial

Para que el pulso actúe sobre la piel durante un periodo específico T, la señal de salida del monoestable se bloquea mediante la señal PULSO(T) a través una compuerta NOR. Un circuito de conmutación formado por un par de transistores del tipo NPN BC547 ( $Q_1$ ) y NPN BD135 ( $Q_2$ ) amplifican el pulso produciéndose una señal de hasta 500 mA de corriente pico a través del secundario del transformador. La señal final generada en el primario es un pulso cuadrado positivo de  $100 \mu\text{s}$  a  $2.5 \text{ ms}$  de duración con un voltaje pico de 120 volts y hasta 50 mA de corriente. Los valores de resistencia para el circuito de transistores son  $R_4 = 56 \text{ k}\Omega$  y  $R_5 = 1 \text{ k}\Omega$

Un potenciómetro  $P_A = 10 \text{ k}\Omega$  permite la variación de la intensidad del estímulo eléctrico (de 0V hasta

el nivel máximo). Dos pares de electrodos de contacto (placas de cobre) ejercen la estimulación percutánea derecha e izquierda. El canal de estimulación se modifica a través del interruptor del selector de canal. El diodo es del tipo IN4002.

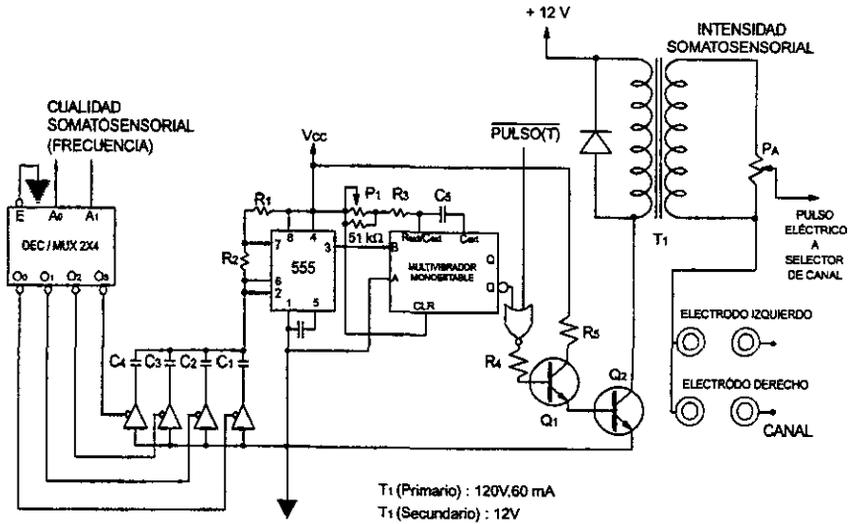


FIG.III.38. Diagrama lógico del estimulador somatosensorial

**Estimulador auditivo**

Este circuito produce un sonido para estimular el sistema auditivo del paciente con características especificadas por las entradas de selección (FIG.III.39). Consiste de un multivibrador astable construido a partir de un temporizador del tipo 555. El circuito puede generar una señal de reloj con cuatro diferentes frecuencias a través de un arreglo lógico formado por un Decodificador de 2X4 del tipo 74LS139 y cuatro inversores de tres estados del tipo 74LS125. Cada salida del decodificador actúa sobre las entradas de habilitación de los inversores de tal forma que sólo un valor específico de capacitancia (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> ó C<sub>4</sub>) se conecta al circuito externo del multivibrador en función del valor de las entradas de selección de la cualidad sensorial. Los valores de las frecuencias utilizados corresponden a las frecuencias de los tonos musicales LA<sub>6</sub>, SOL<sub>6</sub>, FA<sub>6</sub> y MI<sub>6</sub> de la escala musical dicotónica fijados en 3480 Hz, 3132 Hz, 2784 Hz y 2610 Hz respectivamente. Calculemos las capacitancias utilizando la fórmula de frecuencia del 555 y fijando R<sub>1</sub> = 200 Ω y R<sub>2</sub> = 1000 Ω:

$$C_1 = 1.44 / (3480 \text{ Hz} \times 2200 \text{ } \Omega) \approx 0.19 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_2 = 1.44 / (3132 \text{ Hz} \times 2200 \text{ } \Omega) \approx 0.21 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_3 = 1.44 / (2784 \text{ Hz} \times 2200 \text{ } \Omega) \approx 0.24 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_4 = 1.44 / (2610 \text{ Hz} \times 2200 \text{ } \Omega) \approx 0.25 \text{ } \mu\text{F}$$

Para que el sonido actúe durante un periodo específico T, la señal de salida del 555 se bloquea mediante la señal PULSO(T) a través de un decodificador de 2X4 del tipo 74LS139. Finalmente la onda cuadrada se amplifica para cada canal mediante un par de transistores (Q<sub>1</sub> y Q<sub>2</sub>) PNP del tipo TIP32 con

resistencias de base  $R_3=R_4= 2.7 \text{ k}\Omega$  y resistencias de colector  $R_5=R_6= 18 \Omega$ . Mediante el interruptor del selector del canal de estimulación podemos direccionar la señal a la bocina derecha ó izquierda. También se incluye la entrada especial para realizar la estimulación auditiva mediante audífonos.

El ciclo de trabajo de la onda cuadrada de salida esta dado mediante la fórmula:

$$C_D = [ (R_2)/(R_1 + 2R_2) ] \times 100$$

$$C_D = [(1000 \Omega)/(2200 \Omega)] \times 100 = 45.45 \%$$

El potenciómetro  $P_A= 500\Omega$  permite una atenuación con respecto al nivel máximo de sonido de hasta -27 dB. Los audífonos deben tener una impedancia de  $33 \Omega$ . El valor de  $R_7$  y  $R_8$  se fija en  $12 \Omega$ .

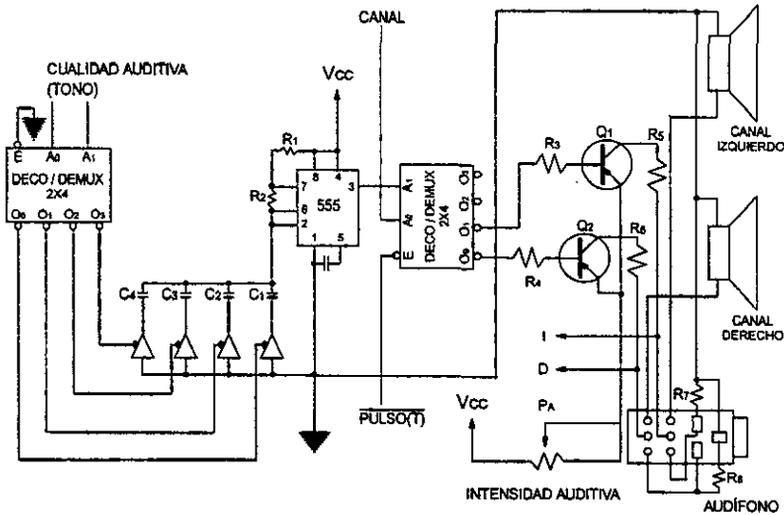


FIG.III.39. Diagrama lógico del estimulador auditivo

### Circuito de Inicio

Se encarga de la emisión un pulso cuando se enciende el sistema (FIG.III.40). Este pulso se aplica a la entrada de despeje de los flip-flops de los otros circuitos para eliminar los estados indeterminados. Consta de un multivibrador monoestable no redispensible del tipo 74LS221. Cuando el circuito se enciende, INICIAR tiene un valor de 0 mientras el capacitor  $C_2$  se carga a través de  $R_2$ . Después de un breve periodo de tiempo, el voltaje de  $C_2$  alcanza el nivel  $V_{T+}$  que dispara al monoestable, poniendo INICIAR = 1 durante un tiempo  $t_w$ . Fijando  $R_2=22 \text{ k}\Omega$  y  $C_2=22 \mu\text{F}$ , el tiempo previo al disparo del multivibrador en el que INICIAR=0 con  $V_{T+} \approx 2 \text{ V}$  es:

$$t = 0.5 R_2 C_2 = 0.5 (22 \text{ k}\Omega)(22 \mu\text{F}) = 242 \text{ ms}$$

Con  $R_1=22 \text{ k}\Omega$  y  $C_1=22 \mu\text{F}$  el ancho del pulso  $t_w$  es:

$$t_w = \ln 2 R_1 C_1 = \ln 2(22 \text{ k}\Omega)(22 \mu\text{F}) \approx 335 \text{ ms}$$

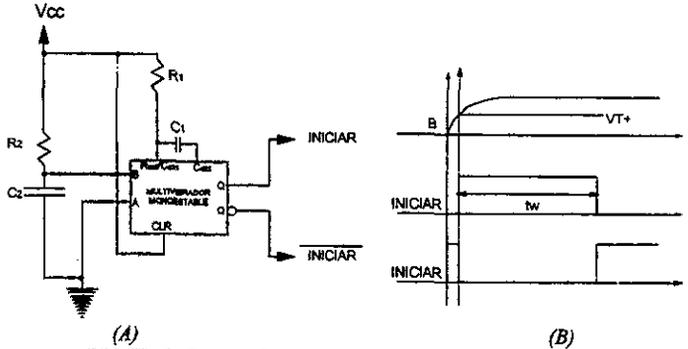


FIG.III.40. Circuito de inicio. (A) Diagrama Lógico. (B) Salida

**Circuito de medición de dB**

Este circuito auxiliar se encarga de la indicación de los decibeles de atenuación que tiene el nivel de audio. Consta de un sólo C.I. del tipo LM3915 que permite el manejo de arreglos de LED's como indicadores de nivel de señal (bargraph). El circuito se calibra de tal forma que el nivel de referencia (estímulo con 0 decibeles de atenuación) consiste de la amplitud promedio de la onda de salida fijado en 1.3 Volts. El nivel acústico puede atenuarse de tres en tres decibeles con respecto a la referencia hasta conseguir una atenuación de -27 dB.

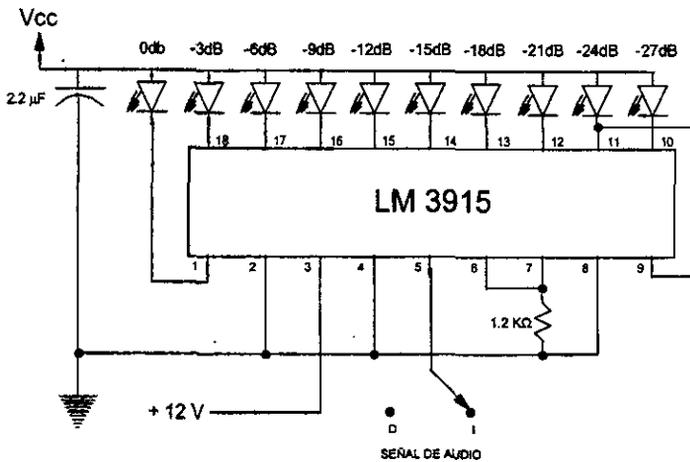


FIG.III.41. Diagrama del circuito auxiliar de medición de decibeles de atenuación

**TIEMPOS DE RETARDO FUNDAMENTALES**

Las FIG.III.42 y FIG.III.43 muestran las demoras ó retardos de propagación de relevancia para la operación del instrumento. NIVEL DE ESTIMULO en el diagrama de tiempo especifica la presencia ó no presencia de un estímulo y RELOJ. T.R. indica si el reloj de medición del tiempo de reacción esta sin cambio ó se encuentra contando (área oscura).

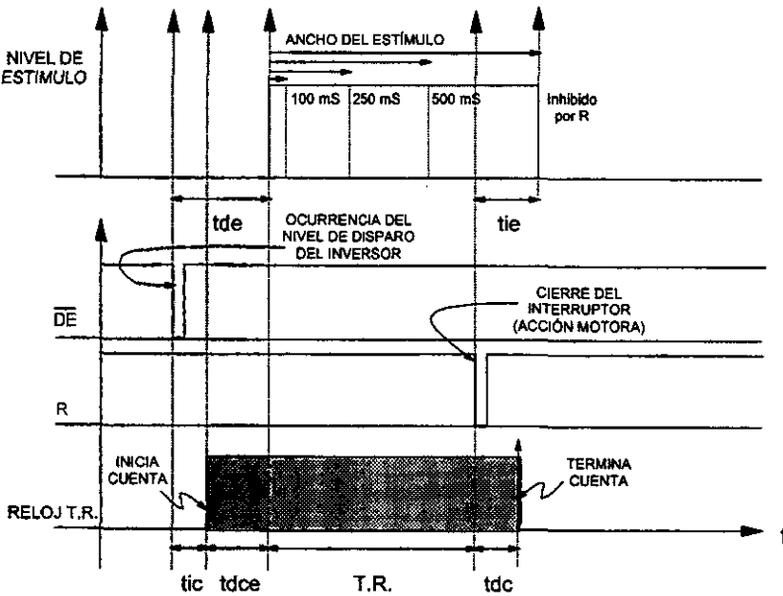


FIG.III.42. Interacción entre DE, R y la emisión del estímulo.

Símbolo	Descripción	Condición	MIN	MAX	U
tic	Tiempo de retardo de DE' al inicio de la cuenta de reloj		188	365	nS
tde	Tiempo de retardo de DE' a la presencia del estímulo	Ae ≠ ∞ Te = Visual 427 489 nS Te = Auditivo 227 289 nS Te = Somatosensorial 1616 1672 nS			
		Ae = ∞ Te = Visual 379 409 nS Te = Auditivo 179 209 nS Te = Somatosensorial 1568 1592 nS			
tie	Tiempo de retardo entre R y la inhibición del estímulo	Ae ≠ ∞ Te = Visual 383 433 nS Te = Auditivo 187 239 nS Te = Somatosensorial 1081 1130 nS			
tdee	Diferencia absoluta entre el inicio de la cuenta de tiempo y la presencia del estímulo	Ae ≠ ∞ Te = Visual 74 289 nS Te = Auditivo 76 126 nS Te = Somatosensorial 1263 1472 nS			
		Ae = ∞ Te = Visual 26 209 nS Te = Auditivo 9 174 nS Te = Somatosensorial 1215 1392 nS			
tdc	Tiempo de retardo entre la respuesta motora y la detención del reloj de T.R.		150	240	nS

FIG.III.43. Tabla de los tiempos de retardo fundamentales para el sistema de medición de T.R.

---

# **CAPÍTULO IV**

**APLICACIONES Y SOFTWARE**

---

**GUÍA DE OPERACIÓN DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DEL T.R.**

Esta guía esta dividida en los siguientes apartados:

- **Controles del Sistema**
- **Encendido del Sistema**
- **Selección de Parámetros**
- **Modo de Operación**
- **Prueba Simple de T.R.**
- **Pruebas de Discriminación**
- **Búsqueda de Intensidad y verificación de las fuentes de estímulo.**

***Controles del Instrumento***

La disposición de los controles del sistema puede observarse en la FIG.IV.1 y FIG.IV.2.

1. Botón De Cambio Del Tipo De Estímulo.
2. Indicador De Tipo De Estímulo Seleccionado.
3. Botón De Cambio De La Duración Del Estímulo.
4. Indicador De La Duración De Estímulo Seleccionado.
5. Switch Para Cambio De Canal De Estimulación.
6. Indicador De Canal De Estimulación Seleccionado.
7. Indicador De La Cualidad Del Estímulo Blanco Seleccionada.
8. Indicador De La Cualidad Del Estímulo Seleccionada.
9. Control De Intensidad Del Estímulo Visual.
10. Control De Intensidad Del Estímulo Auditivo.
11. Control De Intensidad Del Estímulo Somatosensorial.
12. Control De Variación Del Ancho De Pulso Activo Del Estímulo Somatosensorial.
13. Switch De Cambio Del Modo De Operación.
14. Desplegado Del Valor Del Tiempo De Reacción Ó Reloj De T.R.
15. Desplegado Del Número De Pruebas
16. Botón De Borrado Del Tiempo De Reacción.
17. Botón De Borrado Del Número De Pruebas
18. Botón De Cambio De La Cualidad Del Estímulo Blanco
19. Botón De Cambio De La Cualidad Del Estímulo
20. Botón De Disparo Del Estímulo
21. Interruptor De Encendido Del Sistema
22. Indicador De ON
23. Entrada De Audífono Para El Estímulo Auditivo
24. Salida Del Estímulo Visual

- 25. Salida De Audio
- 26. Salida Del Estímulo Somatosensorial
- 27. Interruptor De La Respuesta Motora
- 28. Botón Auxiliar De Detención
- 29. Línea de Tierra
- 30. Indicador de atenuación del estímulo acústico
- 31. Switch de Prueba de Intensidad del Estímulo Acústico

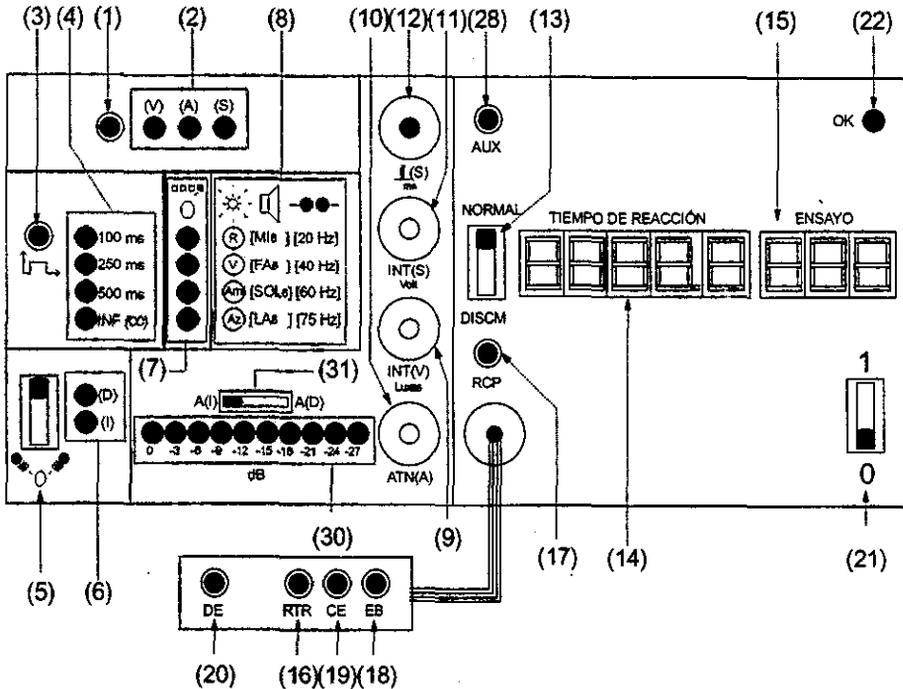


FIG.IV.1. Esquema de la distribución de controles de la parte anterior del instrumento

Antes de la utilización del sistema conéctense los cables de la fuente de luz a la salida correspondiente (24) tanto para el canal izquierdo (C.I.) como para el derecho (C.D.). las entradas están marcadas con las letras R (salida luz roja), V (salida luz verde), Am (salida luz amarilla) y Az (salida luz Azul). Proceder a continuación con la conexión de los cables de las bocinas a las salidas de audio (25). Finalmente proceder de igual forma con los electrodos (26).

**Encendido Del Sistema**

Acciónese el interruptor (21) a la posición ON. Cuando el sistema se enciende, se podrán observar las siguientes condiciones iniciales:

- El reloj de tiempo de reacción esta borrado (puesta a ceros).

- El indicador del número de pruebas esta borrado (puesta en ceros).
- No existe un tipo de estímulo seleccionado (esto es, ningún LED encendido - off)
- La cualidad de estímulo predeterminada es ROJO (Visual);  $MI_6$  (Auditivo); 20 Hz (Somatosensorial)
- La cualidad de estímulo blanco predeterminada es ROJO (visual);  $MI_6$  (Auditivo); 20 Hz (Somatosensorial)
- La duración del estímulo predeterminado es 100 ms
- El indicador de ON se encuentra encendido (22)

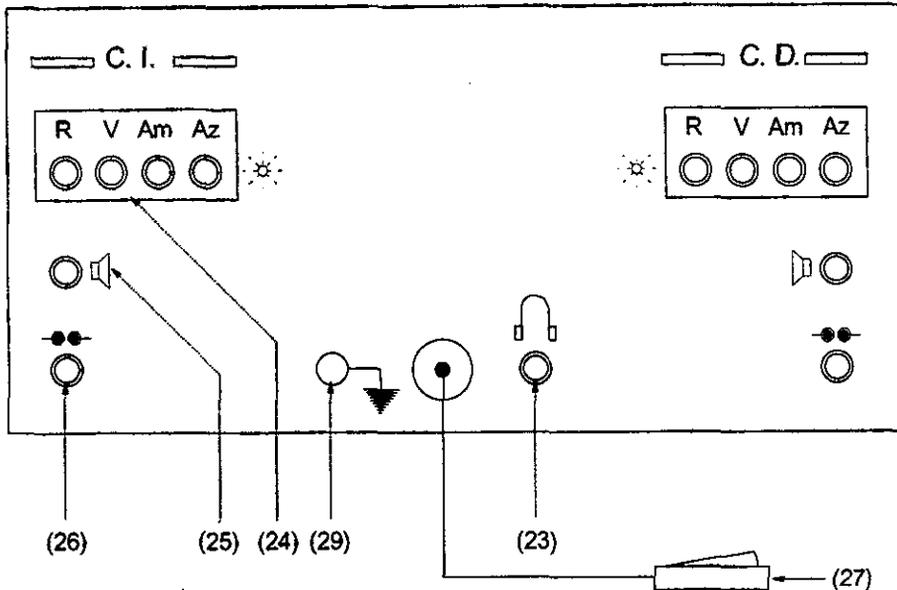


FIG.IV.2. Esquema de la distribución de controles de la parte posterior del instrumento

### Selección De Parámetros

**Tipo de estímulo.** La selección se realiza con pulsaciones sucesivas del botón de cambio correspondiente (1). En este caso, el tipo seleccionado se indica cuando el LED asociado a su descripción en el tablero se encuentra encendido (2).

Existen tres opciones:

- (V). El estímulo seleccionado es una luz
- (A). El estímulo seleccionado es un sonido
- (S). El estímulo seleccionado es un pulso eléctrico

Una cuarta opción ó condición (off) consiste en que no hay un tipo de estímulo seleccionado. Esto es reflejado por el hecho de que ningún LED se encuentra encendido.

**Duración del estímulo.** La selección se realiza con pulsaciones sucesivas del botón de cambio correspondiente (3). En este caso, la duración seleccionada se indica cuando el LED asociado a su descripción en el tablero se encuentra encendido (4).

Existen cuatro opciones posibles:

- 100 ms. El estímulo tendrá una permanencia de 100 milisegundos después del disparo.
- 250 ms. El estímulo tendrá una permanencia de 250 milisegundos después del disparo.
- 500 ms. El estímulo tendrá una permanencia de 500 milisegundos después del disparo.
- $INF(\infty)$ . El estímulo tendrá una permanencia de tiempo igual al periodo transcurrido entre el disparo y la respuesta, ó al tiempo que se mantenga oprimido el botón de disparo. La ocurrencia de una u otra condición depende del modo de operación del sistema.

**Cualidad del estímulo.** La selección se realiza con pulsaciones sucesivas del botón de cambio correspondiente (19). La cualidad seleccionada se indica cuando el LED asociado a su descripción en el tablero se encuentra encendido (8).

Existen cuatro opciones posibles:

**Estímulo Visual:**

- ROJO. Se emite la luz de color rojo.
- VERDE. Se emite la luz de color verde.
- AMARILLO. Se emite la luz de color amarillo.
- AZUL. Se emite la luz de color azul.

**Estímulo Auditivo:**

- $MI_6$ . Se emite un sonido de frecuencia correspondiente a la del  $MI_6$  de la escala musical dicotónica.
- $FA_6$ . Se emite un sonido de frecuencia correspondiente a la del  $FA_6$  de la escala musical dicotónica.
- $SOL_6$ . Se emite un sonido de frecuencia correspondiente a la del  $SOL_6$  de la escala musical dicotónica.
- $LA_6$ . Se emite un sonido de frecuencia correspondiente a la del  $LA_6$  de la escala musical dicotónica.

**Estímulo Somatosensorial:**

- 20 Hz. Se emiten pulsos eléctricos de frecuencia de 20 ciclos por segundo.
- 40 Hz. Se emiten pulsos eléctricos de frecuencia de 40 ciclos por segundo.
- 60 Hz. Se emiten pulsos eléctricos de frecuencia de 60 ciclos por segundo.
- 75 Hz. Se emiten pulsos eléctricos de frecuencia de 75 ciclos por segundo.

**Canal de estimulación.** La selección se realiza posicionando el switch correspondiente (5). Existen dos opciones:

- (D) Permite la emisión de un estímulo a la derecha del campo de percepción del paciente.
- (I) Permite la emisión de un estímulo a la izquierda del campo de percepción del paciente.

**Intensidad de la estimulación visual.** La intensidad de la luz puede variarse desde el 0% al 100% del nivel máximo (5 luxes) (9). El control se encuentra graduado para el envío de luces con las siguientes intensidades definidas:

0.2 Lux	0.5 Lux	1 Lux	2 Lux	3 Lux	4 Lux	5 Lux
---------	---------	-------	-------	-------	-------	-------

**Intensidad de la estimulación auditiva.** La intensidad del sonido puede atenuarse partiendo de la máxima (esto es, con 0 dB de atenuación) hasta niveles con -27 dB (10). El indicador asociado (30) permite mostrar las siguientes atenuaciones definidas:

0 dB	-3 dB	-6 dB	-9 dB	-12 dB	-15 dB	-18 dB	-21 dB	-24 dB	-27 dB
------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

El switch de prueba de intensidad (31) permite cambiar el canal de estimulación para la observación de la atenuación del estímulo.

**Intensidad de la estimulación somatosensorial.** La amplitud del pulso eléctrico puede variarse en términos de volts pico desde 0V hasta 120V (11). El control se encuentra graduado para el envío de pulsos con las siguientes amplitudes definidas:

3V	5V	10V	20V	35V	50V	75V	120V
----	----	-----	-----	-----	-----	-----	------

**Variación del Ancho de pulso del estímulo somatosensorial.** Mediante el control correspondiente (12) puede variarse el ancho del pulso eléctrico en un rango que va de 100  $\mu$ s hasta 2.5 ms. El control se encuentra graduado para los siguientes anchos de pulso:

100 $\mu$ s	250 $\mu$ s	500 $\mu$ s	1 ms	1.5 ms	2 ms	2.5 ms
-------------	-------------	-------------	------	--------	------	--------

### Modo De Operación

Mediante el switch correspondiente (13) puede cambiarse el modo de operación del sistema. Existen dos modos distintos:

**Modo Normal.** Para elegir esta opción el switch debe posicionarse en NORMAL. La característica de este modo consiste en que el sistema *siempre* iniciará la cuenta del reloj de T.R. cuando un estímulo es disparado no importando su cualidad.

**Modo De Discriminación De Estímulos.** Para elegir esta opción el switch debe posicionarse en DISCRIMINATIVO. La característica de este modo consiste en que el sistema iniciará la cuenta del reloj de T.R. *sólo* cuando un estímulo de cualidad específica llamado estímulo blanco es disparado, de otra forma la cuenta de tiempo no será iniciada.

**Prueba Simple de T.R.**

Para la realización de pruebas simples de T.R el sistema debe encontrarse en modo *Normal*. Una prueba ó ensayo comienza cuando se dispara un estímulo (20) a la vez que es iniciada la cuenta del reloj de T.R. y finaliza cuando dicha cuenta es detenida por la introducción de la respuesta motora (27). Cuando el reloj de tiempo de reacción está contando, se dice que el sistema esta en estado de *espera*, de cualquier otra forma, se dice que se encuentra en estado de *reposo*. Cuando se dispara un estímulo en modo normal deben tomarse en consideración los siguientes puntos:

- \* Las características del estímulo, se encuentran determinadas por los parámetros seleccionados ó activos en el momento del disparo.

- \* Durante el estado de *espera*, el reloj de T.R. no puede ser borrado. Asimismo los parámetros de tipo, duración y cualidad del estímulo no pueden ser modificados. Una vez que el sistema cambia al estado de *reposo* los botones de cambio correspondientes son liberados.

- \* Si se encuentra seleccionada la opción de duración del estímulo INF( $\infty$ ) al momento del disparo, entonces el estímulo emitido tendrá una duración igual al tiempo entre el disparo y la respuesta.

- \* Si por alguna razón, el paciente no responde al estímulo ó si ocurre un error en el ensayo, el reloj de T.R. puede ser detenido mediante el botón auxiliar (28).

- \* Cada binomio Disparo - Respuesta incrementará en uno al contador de número de pruebas. El valor de este contador podrá ser borrado en cualquier momento no importando el estado en el que se encuentre el sistema.

**Pruebas de discriminación**

Con el sistema se pueden realizar pruebas de discriminación de estímulos basadas en la cualidad. El sistema debe encontrarse en principio en *modo de discriminación de estímulos*.

Para la selección de la cualidad de un estímulo blanco se realizan pulsaciones sucesivas del botón de cambio (18). La cualidad seleccionada se indica cuando el LED asociado a su descripción en el tablero se encuentra encendido (7).

Para el envío de un estímulo blanco al paciente ( esto es, un estímulo al cual debe responder ) basta con modificar la cualidad (19) y hacerla que corresponda con la cualidad señalada para el estímulo blanco. (FIG.IV.3.A).

En el caso de la emisión de un estímulo blanco, el sistema seguirá el mismo patrón de comportamiento mostrado cuando se realiza una prueba de T.R. en el modo *Normal*.

Para el envío de un estímulo cebo ( esto es, un estímulo que será discriminado ) debe modificarse la cualidad (19) de forma que no corresponda con la cualidad señalada para el estímulo blanco. (FIG.IV.3.B). En el caso de la emisión de un estímulo cebo, el sistema permanece siempre en el estado de *reposo*, esto es, no se inicia una cuenta de tiempo. Cuando se dispara un estímulo cebo deben ser tomados en cuenta los siguientes puntos.

- \* Las características del estímulo cebo se encuentran determinadas por los parámetros seleccionados ó activos en el momento del disparo.

\* Los parámetros de tipo, duración y calidad del estímulo cebo no pueden ser modificados mientras se mantenga presionado el botón de disparo (20) . Una vez que este control ha dejado de presionarse, los botones de cambio de estos parámetros son liberados.

\* Si se encuentra seleccionada la opción de duración del estímulo  $INF(\infty)$  entonces el estímulo cebo tendrá una duración igual al tiempo que se mantenga oprimido el botón de disparo.

\* Como no existe el binomio Disparo - Respuesta el contador de número de pruebas no se verá afectado con la emisión de estímulos cebos. El valor de este contador podrá ser borrado en cualquier momento.

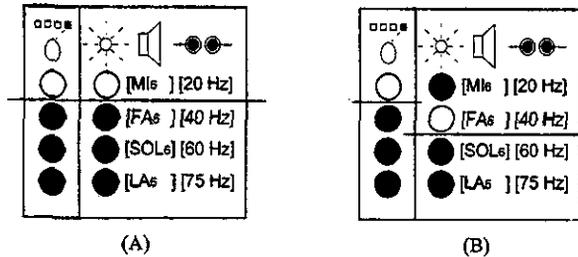


FIG.IV.3. (A) Selección de estímulo blanco, (B) Selección de estímulo cebo

#### Búsqueda de Intensidad y verificación de fuentes de estímulo

Puede probarse un nivel de intensidad cómodo para los sujetos en estudio realizando los siguientes pasos:

1. Póngase el sistema en modo de operación DISCRIMINATIVO.
2. Seleccione el tipo de estímulo, su calidad y el canal. Para el caso del estímulo auditivo, el switch de prueba (31) deberá estar posicionado en el canal de interés.
3. Seleccione la opción  $INF(\infty)$  para la duración del estímulo
4. Asegurarse de que el estímulo seleccionado ó activo no es un estímulo blanco
5. Mover el control de intensidad del estímulo al valor mínimo.
6. Oprimir y mantener en ese estado el botón de disparo.
7. Variar la intensidad de la fuente hasta obtener el nivel deseado.

Puede verificarse el funcionamiento de las fuentes de estimulación realizando los siguientes pasos:

1. Póngase el sistema en modo de operación DISCRIMINATIVO.
2. Asegurarse de que el estímulo seleccionado ó activo no es un estímulo blanco. Asimismo, para el caso del estímulo auditivo, el switch de prueba (31) deberá estar posicionado en el canal de interés.
3. Oprimir el botón de disparo. Verificar el estímulo.
4. Seleccione libremente las diversas características del estímulo y volver al punto 3.

APLICACIONES

- Este instrumento ha sido creado para ser aplicado en investigaciones pertenecientes al campo de la oncopsiquiatria, específicamente en la utilización del tiempo de reacción como índice de la probable alteración de la fisiología del SNC y órganos sensoriales debida a la aplicación de la radioterapia y quimioterapia (Méndez, 1996).
- A nivel clínico este instrumento puede aplicarse en la determinación de los efectos que diferentes dosis de alcohol y drogas tienen en el estado de alerta y reacción de un individuo. (Varé, 1932; Mayerhofer, 1932; Straub, 1938; Hausser y Truffert, 1940; Hill, Belleville y Wilker, 1957)<sup>[18]</sup>
- En el campo farmacéutico, este instrumento puede ser aplicado para evaluar el efecto que tienen a corto ó a largo plazo sobre el tiempo de reacción la ingesta de medicamentos potencialmente peligrosos.
- En el ámbito del transporte, este instrumento puede formar parte del equipo de apoyo para la realización de pruebas encaminadas a conocer el estado de alerta y los reflejos de conductores de autobuses ó pilotos de aviación y así evitar posibles accidentes.
- Puede ser utilizado en experimentos especiales como los realizados en EEUU donde un instrumento de medición del tiempo de reacción ha sido aplicado como elemento fundamental para estudiar el comportamiento del reloj biológico del ser humano y para conocer los efectos de la carencia de sueño prolongada.
- En el ámbito laboral, el dispositivo puede ser utilizado para conocer la influencia que ciertos estímulos constantes provenientes del medio ambiente tienen sobre el rendimiento y capacidad de respuesta de los trabajadores.
- En el ámbito deportivo, puede ser utilizado para conocer los efectos que los sistemas de entrenamiento tienen sobre las capacidades de reacción de los deportistas y por tanto, puede establecerse una retroalimentación que permita corregir entrenamientos erróneos o que no presenten resultados a cierto plazo. (Fessard y Laugier, 1929; Bonardel, 1955)<sup>[18]</sup>
- En nutrición, el instrumento puede ser aplicado para conocer los efectos que las carencias vitamínicas crónicas y de otros nutrientes tienen sobre el tiempo de reacción y así convertirlo en un dispositivo de diagnóstico en este campo (Brozek, Guetzkow y Keys, 1946)<sup>[18]</sup>.
- En el campo del diagnóstico clínico su aplicación es extensa. En este sentido, estudios indican que los tiempos de reacción se prolongan y su variabilidad aumenta en aquellos individuos que sufren de lesiones cerebrales (Benton, 1958), los deficientes mentales (Pascal, 1935), los niños coreicos (Bradshaw, 1937), los enfermos de parálisis agitante (Di Giacomo y Monica, 1927), los enfermos del mal de Parkinson, los epilépticos (Huxton, Shakow y Riggs, 1937), los neuróticos (Grunewald, 1954), los esquizofrénicos (Venables y Tizard, 1956; Venables 1958; Sutton, Hakerem, Zubin y Portnoy, 1961), algunos casos de ciáticas, polineuritis, tabes, esclerosis en placas (Michon, 1939), en personas que han inhalado óxido nítrico, etileno ó acetileno (Marshall, 1938) ó deficientes sensoriales de origen central (Chocholle, 1954, 1960, 1965; Maspétiol, Semette y Mathieu, 1960). También se ha estudiado el efecto producido sobre los tiempos de reacción por las operaciones cerebrales (Smith, 1947)<sup>[18]</sup>.

Para poder manipular e interpretar los tiempos de reacción obtenidos durante la experimentación, los investigadores pueden auxiliarse de los sistemas de cómputo dada su capacidad de almacenamiento de grandes volúmenes de información y su gran velocidad de procesamiento de datos. A continuación se presenta un programa de software que permite almacenar y procesar los datos obtenidos con el instrumento de medición de tiempo de reacción diseñado en este trabajo. El programa cubre las necesidades básicas que surgen cuando se realiza este tipo de investigaciones y que incluyen el almacenamiento de los valores del tiempo de reacción, la graficación de estos por medio de gráficas de barras, el cálculo de la media aritmética de una batería (sesión) de ensayos, el cálculo de la media aritmética de un grupo de sesiones y la impresión de resultados.

### **PROGRAMA DE CONSULTA Y GRAFICACIÓN DEL T. R. (CYGTIRE)**

#### **Objetivo**

Elaborar un programa de software para el almacenamiento y graficación de datos para ser empleado como apoyo en la interpretación de la información generada durante la realización de pruebas de medición de tiempo de reacción (T.R.) para fines de diagnóstico e investigación.

#### **Alcance**

El programa podrá almacenar y graficar los valores de T.R. de los pacientes a través de gráficas de barras, además de obtener el promedio de tales valores para cada sesión. El almacenamiento de la información no solo incluye los tiempos de reacción sino también los parámetros de estimulación empleados en las pruebas.

#### **Descripción del Problema**

El programa de software propuesto surge de las necesidades básicas de los grupos de investigación y diagnóstico a saber:

1) Almacenamiento de la información concerniente al T.R.:

- Nombre del paciente examinado.
- El número de la sesión de ensayos.
- Tipo de estímulo aplicado.
- Parámetros seleccionados para la estimulación aplicada: Calidad del estímulo, duración, canal de estimulación e intensidad.
- Valor del tiempo de reacción al estímulo aplicado.

2) Obtención de gráficas que muestren:

- El número de ensayos (eje X) contra el valor del tiempo de reacción (eje Y) obtenido en cada uno de ellos, según el tipo y las propiedades del estímulo aplicado para un sujeto determinado y durante una sesión específica. Las gráficas incluyen también como información adicional el valor promedio de los tiempos de reacción dentro de dicho conjunto de ensayos.

- El numero de sesiones (eje X) contra el promedio del tiempo de reacción obtenido en cada una de ellas (eje Y), según el tipo y las propiedades del estímulo aplicado para un sujeto determinado. Estas gráficas muestran también el valor promedio para el conjunto de sesiones graficado.

En base a estas necesidades, el programa debe entonces hacer específicamente lo siguiente:

- Aceptación y edición de los datos numéricos y de caracter que componen la información de tiempo de reacción a través de una *forma* conectada a una base de datos.
- Generación de la salida gráfica de ensayos contra valor del tiempo de reacción a un estímulo determinado para un paciente y sesión específicos.
- Generación de la salida gráfica de sesiones contra valor de T.R. promedio a un estímulo determinado para un paciente específico.
- Impresión de los datos, gráficas y resultados.

### Entorno del programa

El programa se comunica externamente con el investigador, que es quien proporciona la información que se desea graficar. Las entradas proporcionadas por éste y las salidas obtenidas se muestran en la FIG.IV.4. Las salidas gráficas pueden ser enviadas a pantalla ó a la impresora.

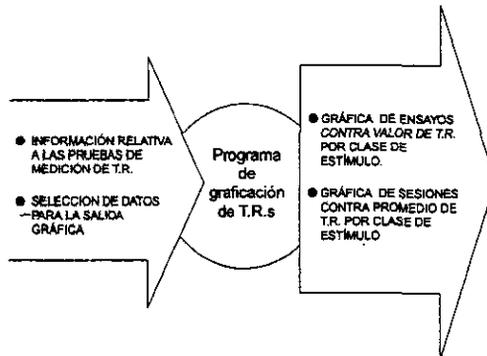


FIG.IV.4. Entradas y salidas del programa de graficación de T.R. s

### Datos de entrada

- Identificador del sujeto. (nombre)
- Tipo de Prueba
- Número de la sesión
- Tipo de estímulo aplicado
- Parámetros del estímulo aplicado
  - Duración del estímulo
  - Cualidad del estímulo
  - Intensidad del estímulo

Canal de estimulación

- Valor del Tiempo de Reacción.

**Descripción del proceso.**

El programa se comunica con el investigador y la base de datos como se muestra en FIG.IV.5. A continuación se enuncian los distintos elementos del diagrama de flujo de datos.

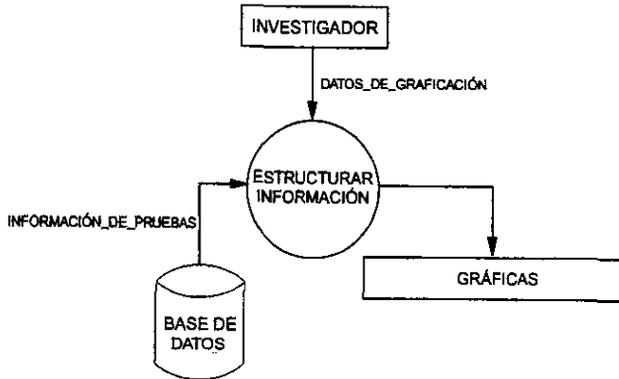


FIG.IV.5. Flujo de datos del programa de graficación de T.R.

**Datos**

Flujo	Descripción	Componentes
DATOS_DE_GRAFICACIÓN	Es el conjunto de datos suministrados como parámetros para la graficación de los tiempos de reacción	Sujeto Tipo de Prueba Sesión Tipo del estímulo Duración, Calidad, Intensidad y Canal de estimulación
INFORMACIÓN_DE_PRUEBAS	Se refiere a la información registrada en la base de datos de las pruebas de T.R.	Identificador del Sujeto Número de la sesión Tipo de Prueba Tipo de estímulo aplicado Duración del estímulo Calidad del estímulo Intensidad del estímulo Canal de estimulación Tiempo de Reacción

**Procesos**

Nombre	Descripción
ESTRUCTURA INFORMACIÓN	Filtra la información almacenada en la base de datos en base a los parámetros de entrada generando las estructuras de datos necesarias para obtener finalmente las salidas gráficas.

En FIG.IV.6. se presenta el detalle del proceso estructurar información. A continuación se describen los distintos elementos del diagrama.

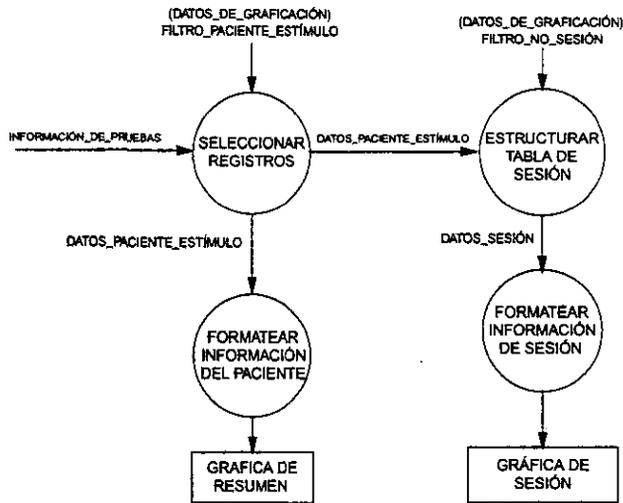


FIG.IV.6. Detalle del proceso de Estructura Información.

**Datos**

Flujo	Descripción	Componentes
FILTRO_PACIENTE_ESTIMULO.	Datos del paciente y naturaleza de la prueba y estímulo a graficar.	Sujeto Tipo de Prueba Tipo de estímulo Duración, Calidad, Intensidad, Canal de estimulación
FILTRO_NO SESION.	Sesión a graficar.	Número de la sesión
DATOS_PACIENTE_ESTIMULO.	Es la información relacionada con un paciente y para un tipo de prueba y estímulo específico.	Registros de la base de datos referentes al sujeto y la naturaleza particular de la prueba y el estímulo aplicado
DATOS_SESION.	Es la información de una sola sesión, relacionada con el paciente, tipo de prueba y estímulo específicos	Tiempos de reacción, descriptor del sujeto, descriptores del estímulo, descriptor del tipo de prueba y numero de sesión

**Procesos**

Nombre	Descripción
SELECCIONAR REGISTROS.	Realiza la selección de la información almacenada en la base de datos en base a los datos de entrada.
ESTRUCTURAR TABLA DE SESION.	Se encarga de seleccionar los registros de la sesión especificada elaborando con ellos una tabla de datos de T.R.
FORMATEAR INFORMACION DEL PACIENTE.	Se encarga de la generación de la estructura de puntos y leyendas que identifica la información en la gráfica de sesiones vs. promedios de T.R. Obtención del promedio general. (conjunto de sesiones)
FORMATEAR INFORMACION DE SESION.	Se encarga de la generación de la estructura de puntos y leyendas que identifica la información en la gráfica de ensayos vs. valores de T.R. Obtención del promedio de la sesión

**Requerimientos de software.**

La herramienta de desarrollo elegida para la realización del programa es Visual Basic para Windows V3.0. Las principales ventajas son las siguientes:

- Es una herramienta que permite la realización de aplicaciones que corren bajo ambiente Windows teniendo por tanto las ventajas que proporciona al usuario final (en este caso al investigador) la amigable interface gráfica.
- Es una herramienta que sortea la complejidad de Windows al proporcionar una combinación de herramientas de diseño visual con las posibilidades del lenguaje BASIC, proporcionado con ello simplicidad y facilidad de uso.
- Posee un lenguaje de programación completamente orientado a eventos. Este estilo esta especialmente adaptado a las interfaces gráficas de usuario.

La base de datos para el almacenamiento de los tiempos de reacción estará desarrollada en ACCESS dado que Visual Basic cuenta con su propia herramienta que permite la creación y conexión directa de sus aplicaciones con bases de datos de este tipo.

**Base De Datos**

*Definición de los Atributos de los datos de entrada*

DATO	TIPO	EXTENSIÓN
Identificador del sujeto. (nombre)	Caracter	40
Número de la sesión	Entero	—
Tipo de prueba	Caracter	2
Tipo de estímulo aplicado	Caracter	15
Duración del estímulo	Caracter	7
Cualidad del estímulo	Caracter	10
Intensidad del estímulo	Caracter	10
Canal de estimulación	Caracter	10
Valor del Tiempo de Reacción.	Real	—

Modelo Entidad Relación

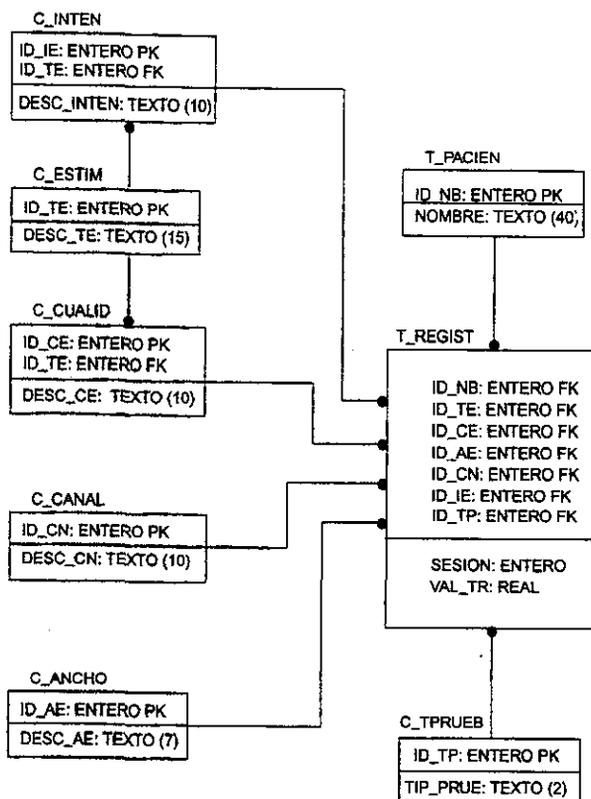


FIG.IV.7. Modelo entidad relación para la base de datos del programa

Definición de las tablas

DICCIONARIO DE DATOS

No.	CAMPO	DESCRIPCIÓN
1	ID NB	Clave del paciente.
2	NOMBRE	Nombre del paciente.
3	SESION	Número de sesión.
4	VAL TR	Valor del tiempo de reacción.
5	ID TE	Clave del tipo de Estímulo.
6	DESC TE	Descripción del tipo de Estímulo.
7	ID CN	Clave del canal de estimulación.
8	DESC CN	Descripción del canal de estimulación.
9	ID AE	Clave de la duración del estímulo
10	DESC AE	Descripción de la duración del estímulo
11	ID IE	Clave de la intensidad del estímulo
12	DESC IE	Descripción de la intensidad del estímulo
13	ID CE	Clave de la cualidad del estímulo
14	DESC CE	Descripción de la cualidad del estímulo
15	ID TP	Clave del tipo de prueba
16	TIP PRUE	Descripción del tipo de prueba

DICCIONARIO DE TABLAS

TABLA	DESCRIPCIÓN
C ESTIM	Catálogo de los tipos de estímulo.
C CUALID	Catálogo de las cualidades del estímulo.
C CANAL	Catálogo de los canales de estimulación.
C ANCHO	Catálogo de las duraciones del estímulo.
C INTEN	Catálogo de las intensidades del estímulo.
C TPRUEB	Catálogo de los tipos de prueba.
T PACIEN	Tabla de registro de los pacientes.
T REGIST	Tabla de registro de los pacientes.

ESTRUCTURA DE LAS TABLAS

(C ESTIM)

No.	CAMPO	TIPO	LONGITUD	REFERENCIA
1	ID TE	ENTERO		PK
2	DESC TE	TEXTO	15	

(C CUALID)

No.	CAMPO	TIPO	LONGITUD.	REFERENCIA
1	ID CE	ENTERO		PK
2	ID TE	ENTERO		FK
3	DESC CE	TEXTO	10	

(C CANAL)

No.	CAMPO	TIPO	LONGITUD.	REFERENCIA
1	ID CN	ENTERO		PK
2	DESC CN	TEXTO	10	

(C ANCHO)

No.	CAMPO	TIPO	LONGITUD.	REFERENCIA
1	ID AE	ENTERO		PK
2	DESC AE	TEXTO	7	

(C INTEN)

No.	CAMPO	TIPO	LONGITUD.	REFERENCIA
1	ID IE	ENTERO		PK
2	ID TE	ENTERO		FK
3	DESC INTEN	TEXTO	10	

(T PACIEN)

No.	CAMPO	TIPO	LONGITUD.	REFERENCIA
1	ID NB	ENTERO		PK
2	NOMBRE	TEXTO	40	

(C TPRUEB)

No.	CAMPO	TIPO	LONGITUD.	REFERENCIA
1	ID TP	ENTERO		PK
2	TIP PRUE	TEXTO	2	

(T\_REGIST)

No.	CAMPO	TIPO	LONGITUD	REFERENCIA
1	SESION	ENTERO		
2	ID NB	ENTERO		FK
3	ID TE	ENTERO		FK
4	ID CE	ENTERO		FK
5	ID AE	ENTERO		FK
6	ID CN	ENTERO		FK
7	ID IE	ENTERO		FK
8	ID TP	ENTERO		FK
8	VAL TR	REAL		

**Diseño del Programa**

Basándose en el concepto de la GUI, podemos considerar al programa como un conjunto de elementos visuales relacionados ó asociados a los procesos que a su vez pueden ser iniciados ó disparados mediante acciones (eventos) ejercidas sobre los objetos de comunicación de la computadora (ratón y teclado). Enunciamos a continuación la división del sistema basada en las funciones principales y las acciones generales que el investigador puede realizar.

Básicamente el programa puede dividirse en tres pequeños módulos:

- Módulo de Entrada de Datos.** Permite la recepción y validación de la información a almacenar en la base de datos, su modificación y la especificación y exhibición de los parámetros que servirán para la graficación de los tiempos de reacción.
- Módulo de Graficación.** Permite la manipulación de la información proporcionada por el investigador para la obtención de las salidas gráficas.
- Módulo de Impresión.** Se encarga de obtener como salida en forma impresa en papel las gráficas generadas.

Mientras que las acciones generales que se pueden realizar son las siguientes:

**Graficar.** Permite la obtención de las salidas gráficas.

**Imprimir.** Permite la obtención de las salidas gráficas en papel.

**Seleccionar.** Define los datos ó parámetros que sirven para filtrar la información de la base de datos para la obtención de las salidas gráficas.

**Insertar.** Permite insertar registros en la base de datos.

**Modificar.** Permite modificar los registros almacenados en la base de datos.

**Borrar.** Permite borrar registros almacenados en la base de datos.

**Salir.** Permite terminar la ejecución del programa.

**Interfaz de Usuario**

**Distribución de la Pantalla Principal de Entrada de datos.**

El sistema cuenta con una sola pantalla que alberga todos los elementos visuales y cuya característica se muestra en la FIG.IV.8.

A continuación se proporciona una descripción de cada área de la pantalla.

**Sección de Entrada de Datos.** En esta parte se encuentran los elementos visuales necesarios para la captura y modificación de la información que alimenta a la base de datos de T.R. Esto elementos también se utilizan para la introducción de los datos de graficación.

**Sección de Comandos.** En esta parte de la pantalla se encuentran los elementos visuales asociados a las operaciones que realiza el programa.

**Sección de Despliegue de Información Seleccionada.** En esta área de la pantalla se encuentran los elementos visuales para el despliegue de la información seleccionada de la base de datos.

**Sección de Gráficas.** En esta área de la pantalla se presentan las salidas gráficas del programa y las opciones de impresión.

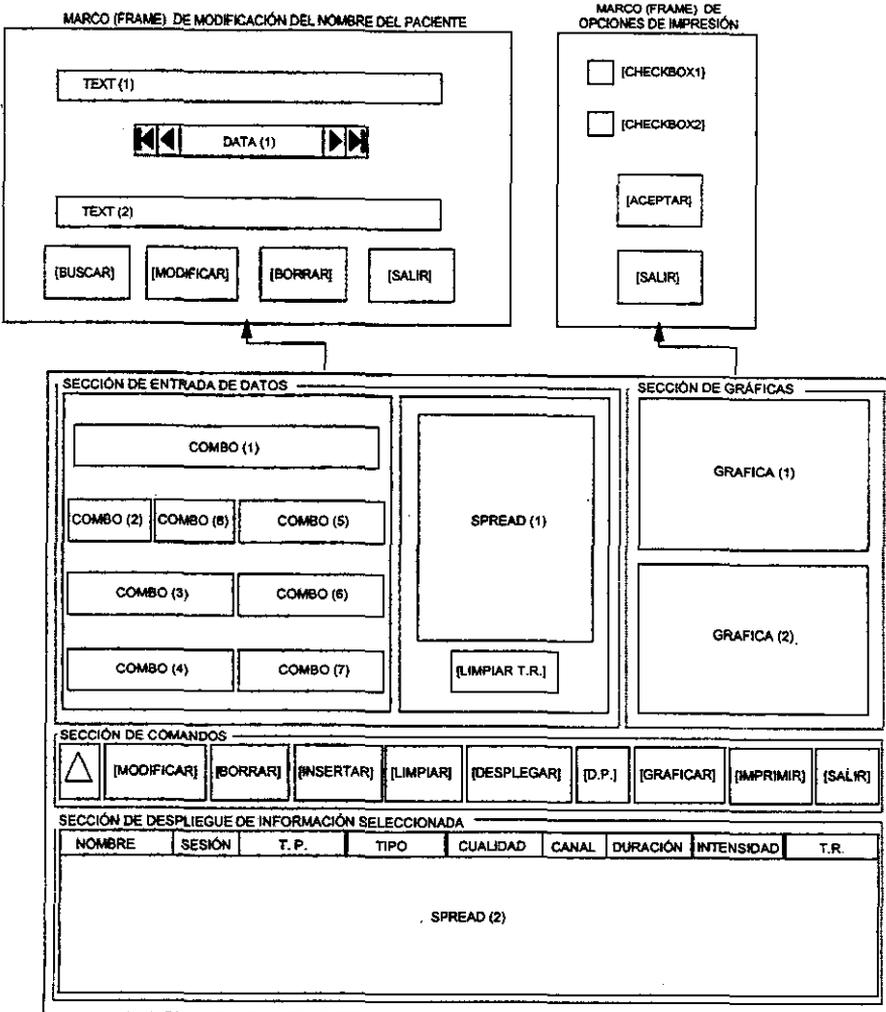


FIG.IV.8. Pantalla principal del programa y marco de edición de nombre

Controles del programa

Pantalla Principal	
Control	Descripción
Combo (1)	<i>Función:</i> Permite capturar el nombre de un nuevo paciente ó despliega en forma de lista los nombres registrados en el archivo y permite la selección de alguno de ellos. <i>Característica:</i> Cualquier modificación hecha a un nombre existente al momento de realizar una operación de inserción (Botón Insertar), se considerará como un paciente nuevo.
Combo (2)	<i>Función:</i> Permite capturar una nueva sesión para un paciente ó en el caso de sesiones ya registradas, estas pueden ser desplegadas en forma de lista y alguna de ellas ser seleccionada. <i>Característica:</i> Cualquier modificación del número de sesión al realizar una operación de Modificación (Botón Modificar) se considerará como una sesión nueva.
Combo (3)	<i>Función:</i> Despliega los tipos de estímulos disponibles en el catálogo de tipos de estímulos, permitiendo elegir uno de ellos. <i>Característica:</i> No es editable.
Combo (4)	<i>Función:</i> Despliega las cualidades disponibles en el catálogo de cualidades del estímulo según el tipo de estímulo especificado en Combo 3 y permite elegir una de ellas. <i>Característica:</i> No es editable. La información es mostrada solo cuando se ha seleccionado previamente un tipo de estímulo.
Combo (5)	<i>Función:</i> Despliega los canales de estimulación disponibles en el catálogo permitiendo elegir uno de ellos. <i>Característica:</i> No es editable.
Combo (6)	<i>Función:</i> Despliega las duraciones del estímulo disponibles en el catálogo permitiendo elegir una de ellas. <i>Características:</i> No es editable.
Combo (7)	<i>Función:</i> Despliega las intensidades del estímulo disponibles en el catálogo según el tipo de estímulo especificado en Combo 3, permitiendo elegir una de ellas. <i>Característica:</i> No es editable. La información es mostrada solo cuando se ha seleccionado previamente un tipo de estímulo.
Combo (8)	<i>Función:</i> Despliega los tipos de pruebas disponibles en el catálogo, permitiendo elegir una de ellas. <i>Característica:</i> No es editable.
Spread (1)	<i>Función:</i> Sirve para capturar los tiempos de reacción. También se utiliza para presentar el tiempo de reacción del registro seleccionado para una operación de modificación (Botón Modificar) <i>Característica:</i> Permite la captura de hasta 50 tiempos de reacción consecutivos. La captura se realiza sin el punto decimal, es decir, se expresa el valor del T.R. en diezmilésimas de segundo.
Botón [Limpiar T.R.s]	<i>Función:</i> Limpia toda la información introducida en el <i>Spread 1</i>
Spread (2)	<i>Función:</i> Despliega información de la base de datos seleccionada a través de los datos introducidos en los Combos (1,2,3,4,5,6,7,8). Permite seleccionar registros. <i>Característica:</i> No es editable. Posee 9 columnas: <b>Nombre:</b> En esta columna se despliegan los nombres <b>Sesión:</b> En esta columna se despliegan los números de las sesiones. <b>T.P.:</b> En esta columna se despliega el tipo de prueba a realizar. <b>Tipo:</b> En esta columna se despliega el tipo de estímulo aplicado. <b>Cualidad:</b> En esta columna se despliega la cualidad del estímulo. <b>Canal:</b> En esta columna se despliega el canal de estimulación. <b>Duración:</b> En esta columna se despliega la duración del estímulo. <b>Intensidad:</b> En esta columna se despliega la intensidad del estímulo. <b>T.R.:</b> En esta columna se despliega el tiempo de reacción obtenido.

Pantalla Principal (continuación)	
Control	Descripción
Botón [Δ]	<i>Función:</i> Permite el acceso al registro seleccionado con el <i>Spread 2</i> y llena los combos (1,2,3,4,5,6,7,8) con los valores de este registro. El valor del tiempo de reacción asociado se presenta en <i>Spread 1</i> .
Botón [Modificar]	<i>Función:</i> Permite que los cambios realizados al registro seleccionado sean admitidos en la base de datos. <i>Característica:</i> Inactivo hasta que se accesa información del <i>Spread 2</i> (Botón [Δ])
Botón [Borrar]	<i>Función:</i> Permite borrar el registro accesado del <i>Spread 2</i> . <i>Característica:</i> Inactivo hasta que se accesa información del <i>Spread 2</i> (Botón [Δ])
Botón [Insertar]	<i>Función:</i> Permite guardar en la base de datos la información de T.R. capturada. <i>Característica:</i> Inactivo en las operaciones de modificar y borrar datos. Todos los datos en los combos (1,2,3,4,5,6,7,8) deben contener información para poder realizar una operación de inserción.
Botón [Limpiar]	<i>Función:</i> Limpia la información presente en las secciones de edición y desplegado, ello para facilitar la introducción y consulta de información. <i>Característica:</i> Inactivo en las operaciones de modificar y borrar datos.
Botón [Desplegar]	<i>Función:</i> Despliega la información seleccionada a través de los datos presentes en la sección de edición.
Botón [Graficar]	<i>Función:</i> Permite generar las gráficas con la información seleccionada. <i>Característica:</i> Activo sólo después de presentar todos los datos necesarios para realizar esta operación.
Botón [Imprimir]	<i>Función:</i> Permite el acceso al marco de opciones de impresión. <i>Características:</i> Solo se activa después de que se ha realizado la operación de graficar.
Botón [D. P.]	<i>Función:</i> Permite el acceso al marco donde se modifica el nombre del paciente.
Botón [Salida]	<i>Función:</i> Termina la ejecución del programa.
Gráfica (1).	<i>Función:</i> Área de graficación de los tiempos de reacción contra número de pruebas para una sesión <i>Característica:</i> Activa sólo después de que se ha pulsado el botón [Graficar.]
Diálogo (1)	<i>Función:</i> Esta caja de diálogo muestra los datos relacionados con los tiempos de reacción graficados para una sesión: Nombre del paciente Tipo de prueba realizada Número de sesión graficada Número de pruebas para esta sesión Tipo de estímulo aplicado Cualidad del estímulo Canal de estimulación Duración del estímulo Intensidad del estímulo Promedio de T.R para la sesión. <i>Característica:</i> Activa sólo dentro del área de la <i>Gráfica (1)</i> . Posee dos botones que permiten cambiar el tamaño de la gráfica. El botón <i>Sí</i> , maximiza la gráfica si tiene el tamaño normal ó le confiere el tamaño normal si esta maximizada y <i>No</i> , mantiene el tamaño actual.
Gráfica (2)	<i>Función:</i> Área de graficación del promedio de los tiempos de reacción contra número de sesiones. <i>Característica:</i> Activa sólo después de que se ha pulsado el botón [Graficar.]

Pantalla Principal (continuación)	
Control	Descripción
Diálogo (2)	<p><b>Función:</b> Esta caja de diálogo muestra los datos relacionados con las sesiones graficadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre del Paciente</li> <li>• Número de sesiones consideradas para el resumen</li> <li>• Tipo de prueba realizada</li> <li>• Tipo de estímulo aplicado</li> <li>• Calidad del estímulo</li> <li>• Canal de estimulación</li> <li>• Duración del estímulo</li> <li>• Intensidad del estímulo</li> <li>• Promedio general para este tipo de pruebas.</li> </ul> <p><b>Característica:</b> Activa sólo dentro del área de la <i>Gráfica (2)</i>. Posee dos botones que permiten cambiar el tamaño de la gráfica. El botón <i>Si</i>, maximiza la gráfica si tiene el tamaño normal ó le confiere el tamaño normal si esta maximizada y <i>No</i>, mantiene el tamaño actual.</p>
Frame (1)	<p><b>Función:</b> Agrupa los botones de comandos. Lleva por título 'Controles'</p>

Eventos de la Pantalla Principal		
Evento	Control	Descripción
Click	Combo (1)	Despliega los nombres disponibles en el catálogo y permite la selección de uno de ellos. Limpia los demás combos y el <i>Spread 2</i> .
	Combo (2)	Despliega las sesiones disponibles para el paciente definido en <i>combo (1)</i> .
	Combo (3)	Despliega los tipos de estímulo disponibles en el catálogo y permite seleccionar uno de ellos.
	Combo (4)	Despliega las cualidades disponibles en el catálogo según el tipo de estímulo seleccionado y permite elegir una de ellas.
	Combo (5)	Despliega los canales de estimulación disponibles en el catálogo y permite elegir uno de ellos.
	Combo (6)	Despliega las duraciones del estímulo disponibles en el catálogo y permite elegir uno de ellos.
	Combo (7)	Despliega las intensidades disponibles en el catálogo según el tipo de estímulo seleccionado y permite elegir una de ellas.
	Combo (8)	Despliega los tipos de prueba disponibles en el catálogo y permite seleccionar uno de ellos.
	Spread (1)	Selecciona una celda permitiendo introducir un valor de T.R. en ella.
	Botón [Limpiar T.R.s]	Limpia los valores mostrados en <i>Spread (1)</i> .
	Botón: [A]	Introduce los valores de los campos del registro seleccionado de <i>Spread (2)</i> en los combos de edición
	Botón [Modificar]	Las modificaciones realizadas en el registro seleccionado de <i>Spread (2)</i> son almacenadas en la base de datos
	Botón [Borrar]	Permite eliminar el registro previamente seleccionado y accedido de <i>Spread 2</i> .
	Botón [Insertar]	Escribe en la base de datos la información introducida en los combos de edición y el <i>Spread (1)</i>
	Botón [Limpiar]	Limpia los combos de edición, el <i>Spread (1)</i> y el <i>spread (2)</i>
	Botón [Desplegar]	Llena el <i>Spread (2)</i> con la información filtrada mediante los datos de los combos de edición.

Eventos de la Pantalla Principal (continuación)		
Evento	Control	Descripción
	Botón [Graficar]	Elabora las gráficas de los tiempos de reacción relacionados con los datos seleccionados.
	Botón [Imprimir]	Presenta el marco de opciones de impresión en la sección de gráficas inhabilitando a su vez la pantalla principal.
	Gráfica (1)	Despliega el <i>Diálogo (1)</i>
	Diálogo (1)	Cambia el tamaño de la <i>Gráfica (1)</i>
	Gráfica (2)	Despliega el <i>Diálogo (2)</i>
	Diálogo (2)	Cambia el tamaño de la <i>Gráfica (2)</i>
	Botón [D.P]	Presenta el marco de edición del nombre del paciente en la sección de entrada de datos inhabilitando el <i>Frame (1)</i> (Inhabilitación de la sección de comandos).
	Botón [Salir]	Termina el programa.
Change	Combo (1)	Limpia los combos (2,3,4,5,6,7,8) y el <i>Spread (2)</i>
Dragdrop	Gráfica (1)	Desplaza <i>Gráfica (2)</i> sólo cuando <i>Gráfica (1)</i> se encuentra maximizada.

**Controles del marco de modificación de Nombre**

Marco de Modificación de Nombre	
Control	Descripción
Text (1)	<i>Función:</i> Permite visualizar el nombre del registro actual de la tabla de registro de pacientes (T_PACIEN). <i>Característica:</i> Este control también se utiliza para modificar el nombre del paciente.
Data (1)	<i>Función:</i> Permite la conexión con la tabla de registro de los pacientes (T_PACIEN). <i>Característica:</i> Este control también se utiliza para navegar por los registros.
Text (2)	<i>Función:</i> Permite introducir un nombre de hasta 40 caracteres para realizar una búsqueda del mismo. <i>Característica:</i> Se requiere especificar completamente la cadena de texto a buscar.
Botón [Buscar]	<i>Función:</i> Permite realizar una búsqueda del nombre introducido en <i>Text (2)</i> dentro de la tabla de registro de pacientes.
Botón [Modificar]	<i>Función:</i> Permite guardar en la tabla de registro de pacientes los cambios hechos al nombre del paciente seleccionado mediante <i>Text (1)</i> .
Botón [Borrar]	<i>Función:</i> Permite borrar de la tabla de registro de pacientes al paciente seleccionado. <i>Característica:</i> Borra toda la información relacionada con el paciente en la base de datos. (Tabla T_REGIST). Envía un mensaje de advertencia.
Botón [Salir]	<i>Función:</i> Permite concluir la edición de la tabla de registro de pacientes y volver a la pantalla principal.

Eventos del Marco de Edición del Nombre.		
Evento	Control	Descripción
Click	Botón [Modificar]	Los cambios realizados en <i>Text (1)</i> son aceptados en la base de datos convirtiendo las minúsculas del texto a mayúsculas.
	Botón [Borrar]	Elimina de la base de datos toda la información del paciente seleccionado
	Botón [Buscar]	Inicia una búsqueda en la tabla de registro de pacientes el nombre introducido en <i>Text (2)</i> .
	Botón [Salir]	Oculto el marco de edición del nombre y devuelve el control a la pantalla principal.

**Controles del marco de opciones de impresión**

Marco de Opciones de Impresión	
Control	Descripción
CheckBox(1)	<i>Función:</i> Permite seleccionar la gráfica de sesión para su envío a la impresora.
CheckBox(2)	<i>Función:</i> Permite seleccionar la gráfica de resumen para su envío a la impresora.
Botón [Aceptar]	<i>Función:</i> Envía las gráficas seleccionadas a la impresora.
Botón [Salir]	<i>Función:</i> Permite salir del marco de opciones de impresión y volver a la pantalla principal.

Eventos del Marco de Opciones de Impresión.		
Evento	Control	Descripción
Click	CheckBox(1)	Asigna el valor de la bandera que se utiliza para la decisión de envío a impresión de la gráfica de sesión.
	CheckBox(2)	Asigna el valor de la bandera que se utiliza para la decisión de envío a impresión de la gráfica de resumen.
	Botón [Aceptar]	Realiza el procedimiento de impresión.
	Botón [Salir]	Oculta el marco de opciones de impresión y devuelve el control a la pantalla principal.

**Formato de presentación de las gráficas.**

La FIG.IV.9. muestra la distribución de elementos para la gráfica de ensayos vs. valor de tiempo de reacción.

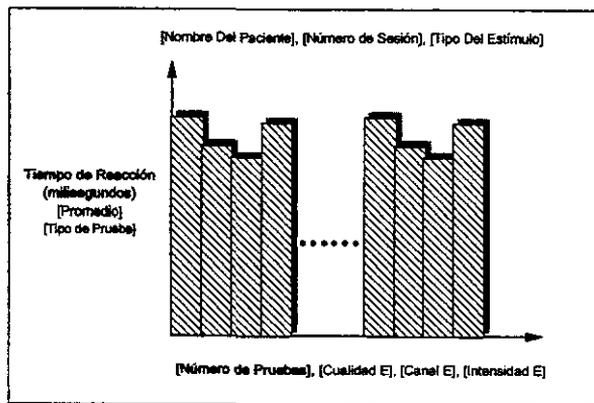


FIG.IV.9. Formato de Gráfica de Sesión

La FIG.IV.10 muestra la distribución de elementos para la gráfica de sesiones vs. valor promedio de tiempo de reacción.

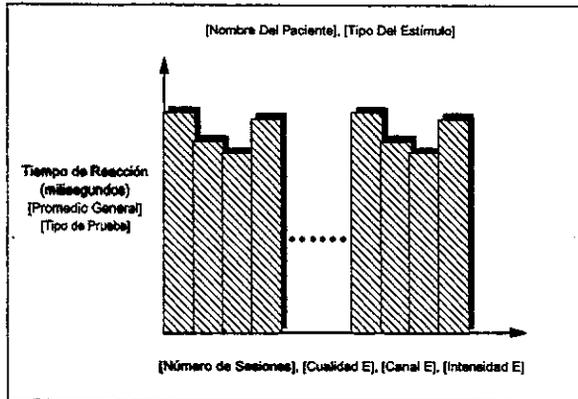


FIG.IV.10. Formato de la Gráfica de Resumen

#### GUÍA DE USUARIO (CYGTIRE)

##### Requerimientos para operación:

Para la utilización del programa se recomienda contar con las siguientes características:

- Computador personal (PC) con microprocesador 80386 ó superior.
- Monitor VGA ó superior
- Ratón
- Memoria RAM de 8 Mbytes ó superior
- Sistema Operativo DOS y Programa Windows Ver.3.x ó superior.
- Espacio mínimo en disco duro de 1.5 Mb

##### Instalación del programa

Los archivos de instalación del programa estan almacenados en dos discos de 3 ½ p de 1.44 Mbytes. El proceso de instalación consiste en la realización de los siguientes pasos:

1). Si se esta utilizando Windows v3.x, primero debe accesar al ambiente tecleando desde el simbolo de DOS:

C:\> WIN. En el caso de Windows 95 ó superior regularmente este paso es omitido ya que la computadora inicia con el ambiente gráfico cuando es encendida.

2). Insertar el disco No.1 y ejecutar el archivo SETUP.EXE. Para el caso de Windows v3.x se accesa al administrador de programas, se selecciona del menú la opción Archivo →Ejecutar y se teclea la cadena "A:Setup.exe". A continuación elegir "Aceptar". Para el caso de Windows 95 ó superior iniciar el Explorador de Windows, luego acceder al drive A y ejecutar el archivo Setup.exe dando doble click sobre él.

3) El instalador presenta una pantalla con la leyenda "*CYGTIRE Setup*" y un indicador de porcentaje que muestra el avance en la operación de transferencia de archivos al disco duro. Después de unos instantes se requiere la inserción del disco No.2 para completar la operación de instalación. Una vez concluida, se genera para el caso de Windows v3.x un grupo de programas con un icono único (reloj despertador) que representa el acceso al programa CYGTIRE. Para el caso de Windows 95 ó superior se genera la carpeta con el acceso directo al programa.

### **Inicio de una sesión de trabajo**

Para ejecutar el programa se accesa al grupo de programas de CYGTIRE y se da doble clic sobre el icono para el caso de Windows v3.x. Para el caso de Windows 95 ó superior se accesa a la carpeta y se da doble clic sobre el acceso directo a CYGTIRE.

Al inicio del programa, la pantalla principal tiene la apariencia mostrada en la FIG.IV.11. Podemos distinguir las siguientes áreas ó secciones:

**Área de Entrada de Información.** Aquí es donde se captura la información obtenida de la realización de las pruebas de medición de tiempo de reacción. También aquí se introducen los datos requeridos para la graficación de los tiempos de reacción relacionados.

**Nombre.** Mediante este combo se introduce el nombre del sujeto. La cadena que lo especifica puede tener una extensión de hasta 40 caracteres y contener letras, números, espacios en blanco y caracteres especiales inclusive.

**Sesión.** Mediante este combo se introduce el numero asignado a la sesión de ensayos para el sujeto seleccionado. Este control sólo acepta caracteres numéricos.

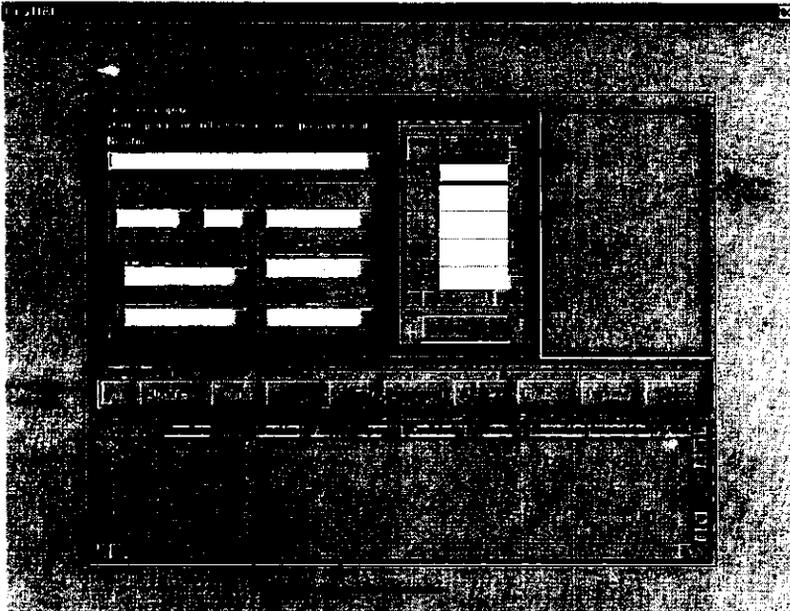
**T. Prueba.** Mediante este combo se selecciona de un catálogo el tipo de prueba realizada. Las opciones se encuentran abreviadas por lo que a continuación ponemos su significado:

NR → Significa prueba normal de medición de T.R.

DS → Significa prueba de discriminación de estímulos.

Este combo no puede se editado.

**Tipo.** Mediante este combo se selecciona de un catálogo el tipo de estímulo aplicado. Este combo no puede editarse.



*FIG.IV.11. Aspecto de la pantalla principal al inicio de la sesión de trabajo*

**Cualidad.** Mediante este combo se selecciona de un catálogo la cualidad del estímulo aplicado. Este combo no puede ser editado.

**Canal.** Mediante este combo se selecciona de un catálogo el canal de estimulación. Este combo no puede ser editado.

**Duración del estímulo.** Mediante este combo se selecciona de un catálogo la duración del estímulo. Este combo no puede ser editado.

**Intensidad.** Mediante este combo se selecciona de un catálogo la Intensidad del estímulo. Este combo no puede ser editado.

**Tiempo de Reacción.** Mediante esta tabla se capturan los tiempos de reacción asociados al paciente, sesión y naturaleza del estímulo especificados. Las celdas se hallan numeradas para facilitar la captura de los valores.

**Área de gráficas.** Aquí es donde se presentan las salidas gráficas así como las opciones de impresión al pulsar el botón [Imprimir].

**Área de despliegue de información.** Aquí se presenta una tabla que permite visualizar la información seleccionada de la base de datos. El área de despliegue de información presentará los siguientes datos para las consultas:

- Nombre del paciente (**Nombre**).
- Sesión (**Sesión**).
- Tipo de prueba (**T.P.**).

- Tipo de estímulo (**Tipo**).
- Calidad del estímulo (**Cualidad**).
- Canal de estimulación (**Canal**).
- Duración del estímulo (**Duración**).
- Intensidad del estímulo (**Intensidad**).
- Tiempo de reacción (**T.R.**).

**Área de comandos.** Aquí es donde se presentan los botones asociados a las operaciones que puede realizar el programa:

**[Δ].** Carga el registro seleccionado de la tabla de despliegue de información y lo convierte en el registro actual.

**[Modificar].** Permite que cualquier cambio en el registro actual sea almacenado en la base de datos.

**[Borrar].** Elimina el registro actual.

**[Insertar].** Guarda en la base de datos la información introducida.

**[Limpiar].** Limpia la pantalla para la introducción de nueva información.

**[Desplegar].** Permite visualizar los registros de la base relacionados con los datos presentes en la sección de entrada de información.

**[D.P.].** Permite editar y borrar los nombres de los pacientes registrados.

**[Graficar].** Permite obtener las salidas gráficas

**[Imprimir].** Manda las salidas gráficas a la impresora.

**[Salir].** Termina la ejecución del programa.

**Área de Edición del Nombre.** Se presenta sobre el área de entrada de datos cuando se pulsa el botón **[D.P.]**. Permite modificar y borrar nombres de pacientes registrados. Contiene los siguientes elementos:

**Nombre.** En esta caja de texto se presenta el paciente actual de la lista de pacientes.

**Navegador.** Mediante este elemento se puede navegar por la lista de pacientes registrados en la base de datos.

**Nombre a Buscar.** En esta caja de texto se puede escribir un nombre a buscar en la lista de pacientes registrados.

**[Buscar].** Inicia una búsqueda en la lista de pacientes del nombre escrito en **Nombre a Buscar**

**[Modificar].** Guarda los cambios hechos al nombre del paciente actual.

**[Borrar].** Elimina el paciente actual.

**[Salir].** Termina la edición.

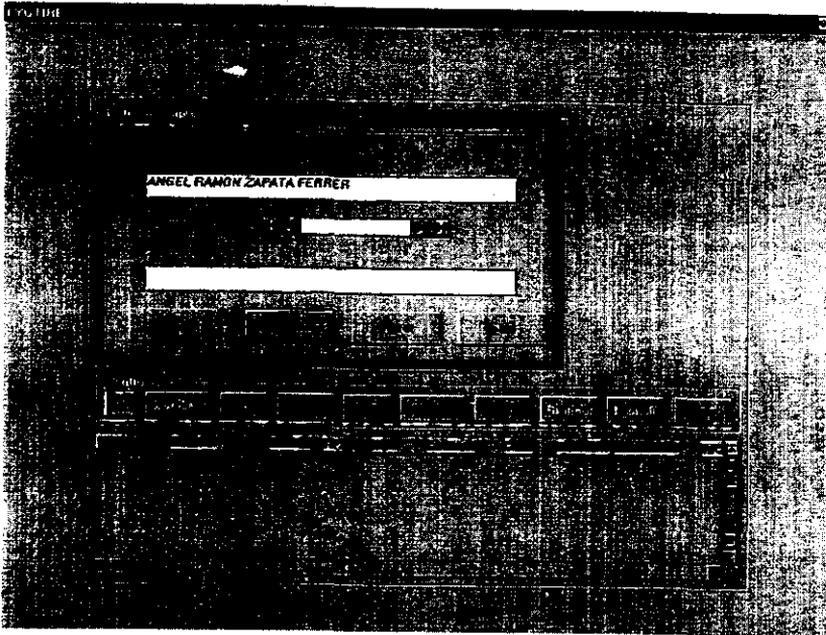
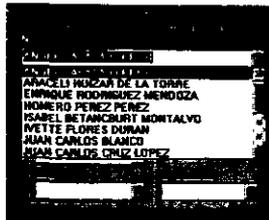


FIG.IV.11. Presentación de la área de edición del nombre de los pacientes

**CAPTURA DE INFORMACIÓN.**

Para la captura de información nos remitimos al área de entrada de datos la cual se encuentra enmarcada bajo la etiqueta **Captura de Datos**.

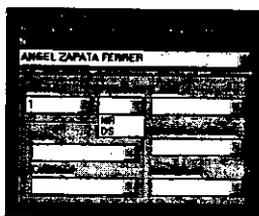
- Escribir directamente el nombre del paciente en el combo de **Nombre**. Si va a introducirse información sobre un paciente ya registrado basta hacer clic sobre la flecha que se encuentra a la derecha del control para que se muestre la lista de nombres almacenados en la base de datos. Hágase después clic sobre el nombre de interés para seleccionarlo.



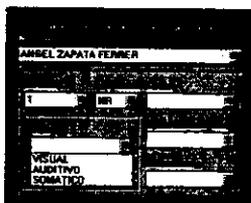
- Escribese directamente el número de sesión en el combo de **Sesión**. Si se desea introducir información referente a una sesión ya almacenada puede hacerse clic sobre la flecha que se encuentra a la derecha del control para que se muestre la lista de las sesiones registradas para el paciente. Hágase clic sobre la sesión de interés para seleccionarla.



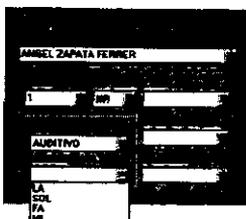
- Selecciónese el tipo de prueba realizada a través del combo de **T.Prueba**. Para visualizar la lista de los tipos de prueba disponibles hágase clic sobre la flecha a la derecha del control. Hágase después clic sobre la opción de interés para seleccionarla.



- Selecciónese el tipo de estímulo aplicado para el caso de pruebas normales (NR) ó el tipo del estímulo blanco para el caso de prueba de discriminación de estímulos (DS) a través del combo de **Tipo**. Para visualizar la lista de los tipos de estímulo disponibles hágase clic sobre la flecha a la derecha del control. Hágase después clic sobre el tipo de interés para seleccionarlo.

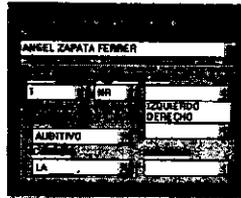


- Selecciónese la cualidad del estímulo aplicado para el caso de pruebas normales (NR) ó la cualidad del estímulo blanco para el caso de prueba de discriminación de estímulos (DS) a través del combo de **Cualidad**. Para visualizar la lista de las cualidades de estímulo disponibles hágase clic sobre la flecha a la derecha del control. Hágase después clic sobre la cualidad de interés para seleccionarla. Las opciones mostradas en el combo de cualidad están en función del tipo de estímulo seleccionado por lo que el control no mostrará cualidad alguna mientras no se haya especificado previamente el tipo de estímulo.

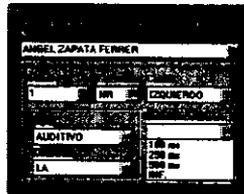


- Selecciónese el canal de estimulación para el caso de pruebas normales (NR) ó el canal del estímulo blanco para el caso de prueba de discriminación de estímulos (DS) a través del combo de **Canal**. Para

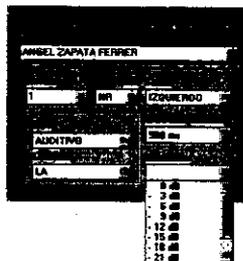
visualizar la lista de los canales disponibles hágase clic sobre la flecha a la derecha del control. Hágase después clic sobre el canal de interés para seleccionarlo.



- Selecciónese la duración del estímulo para el caso de pruebas normales (NR) ó la duración del estímulo blanco para el caso de prueba de discriminación de estímulos (DS) a través del combo de **Duración**. Para visualizar la lista de las opciones disponibles hágase clic sobre la flecha a la derecha del control. Hágase después clic sobre la duración de interés para seleccionarla.



- Selecciónese la intensidad del estímulo para el caso de pruebas normales (NR) ó la intensidad del estímulo blanco para el caso de prueba de discriminación de estímulos (DS) a través del combo de **Intensidad**. Para visualizar la lista de las diferentes intensidades disponibles hágase clic sobre la flecha a la derecha del control. Hágase después clic sobre la intensidad de interés para seleccionarla.



- Captúrense los tiempos de reacción asociados al paciente, sesión y naturaleza del estímulo previamente especificados mediante la tabla de **Tiempos de reacción**. En ella las celdas se hallan numeradas para facilitar la captura de los valores. Para capturar el tiempo de reacción en cada celda basta con hacer clic sobre ella y comenzar a escribir. Al momento de introducir el valor aparecerá a la izquierda de la celda un par de flechas que permiten incrementar ó decrementar en uno el contenido.
- Pulsar el botón **[Insertar]** para almacenar en la base de datos la información introducida. Después de realizada esta operación, los datos serán presentados en la sección de despliegue de información seleccionada.

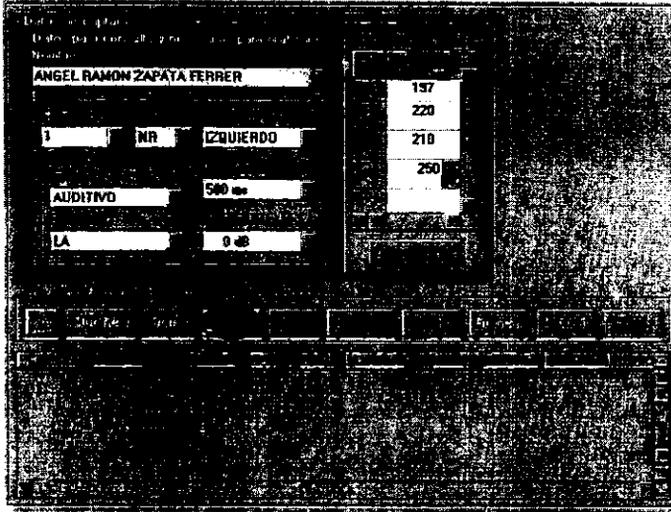


FIG.IV.12. Captura de tiempos de reacción

**Observaciones.**

Para que una operación de inserción pueda llevarse a cabo deben ser especificados todos los parámetros del sujeto, sesión y características del estímulo y debe proporcionarse al menos un tiempo de reacción. De lo contrario aparecerá el siguiente mensaje:



en caso de faltar el nombre, sesión ó alguna de las características del estímulo o bien:



en caso de que falte especificar un valor de T.R.

Un nuevo paciente puede ser registrado sin necesidad de especificar ensayos de medición de T.R. Para ello basta con blanquear toda la captura pulsando el botón [Limpiar], a continuación introdúzcase el nombre y púlsese finalmente el botón [Insertar].

El número máximo de tiempos de reacción que pueden ser almacenados con una sola operación de inserción es de 50.

La captura de los tiempos de reacción debe seguir el orden de las celdas, esto es, se comienza en secuencia desde la celda marcada con el número 1 y no se permite saltarse ó dejar en blanco celdas ya que la

operación de inserción guardará únicamente los valores que van desde la primer celda y hasta la primer celda en blanco que sea encontrada. Para limpiar toda la tabla de registro de los tiempos de reacción púlsese el botón [Limpiar T.R.s]

**CONSULTAS DE INFORMACIÓN.**

Para realizar consultas de la información almacenada en la base de datos se utiliza el comando [Desplegar]. Esta operación presenta el resultado de las consultas en la tabla de la sección de despliegue de información. La selección de los registros se basa en las combinaciones de los datos presentes en ese momento en los combos de la sección de entrada de datos (criterio de selección). Estas combinaciones pueden ser de uno, dos ó varios datos. Para mayor claridad a continuación se dan algunos ejemplos:

- Si se desean ver todas las pruebas almacenadas hasta ese momento púlsese primero el botón [Limpiar] y a continuación púlsese [Desplegar].
- Púlsese el botón [Limpiar]. A continuación seleccíonese un nombre de paciente y púlsese finalmente el botón [Desplegar]. El resultado es la presentación de todas las pruebas almacenadas referentes al paciente especificado.
- Primero púlsese el botón [Limpiar]. Seleccíonese a continuación un tipo de estímulo y su cualidad. Púlsese finalmente el botón [Desplegar]. El resultado es la presentación de todas las pruebas en las que fue aplicado el tipo de estímulo y la cualidad especificada.
- Púlsese el botón [Limpiar]. Seleccíonese a continuación un paciente, un número de sesión y un tipo de prueba. Púlsese finalmente el botón [Desplegar]. El resultado es la presentación de todas las pruebas del tipo especificado hechas al paciente durante la sesión seleccionada.

The screenshot shows a software interface with a patient name field containing 'ANGEL ZAPATA FERRER'. Below the name field are several empty input fields. At the bottom of the interface is a table displaying test results for the specified patient.

ANGEL ZAPATA FERRER	1	NR	AMBIVTO	LA	IZQUIERDO	500 ms	0.45	278
ANGEL ZAPATA FERRER	1	NR	AMBIVTO	LA	IZQUIERDO	600 ms	0.45	306
ANGEL ZAPATA FERRER	1	NR	AMBIVTO	LA	IZQUIERDO	500 ms	0.45	245
ANGEL ZAPATA FERRER	1	NR	AMBIVTO	LA	IZQUIERDO	500 ms	0.45	238
ANGEL ZAPATA FERRER	1	NR	AMBIVTO	LA	IZQUIERDO	600 ms	0.45	238
ANGEL ZAPATA FERRER	1	NR	AMBIVTO	LA	IZQUIERDO	500 ms	0.45	258

FIG.IV.14. Ejemplo de consulta de todas las pruebas realizadas al paciente especificado en Nombre

**MODIFICAR INFORMACIÓN.**

*Modificación de pruebas de T.R.*

Esta operación se realiza registro por registro a través de los siguientes pasos:

- Para acceder los datos que va a ser modificados estos deben ser previamente seleccionados y presentados en el área de despliegue de información. Realícese entonces como primer paso la operación de consulta requerida.
- Escógase a continuación la prueba a modificar haciendo clic sobre el número de fila que se encuentra a la izquierda de la columna Nombre de la tabla de consulta. El registro cambiará de color (oscuro) indicando que se encuentra seleccionado.
- Púlsese el botón [Δ] para que los datos de la prueba sean cargados en los combos del área de entrada de datos. El tiempo de reacción del registro será presentado en la primer celda (1) de la tabla de captura de T.R.s.
- Modifíquense a voluntad los datos de la prueba y a continuación púlsese el botón [Modificar]. Los cambios hechos serán almacenados en la base de datos.

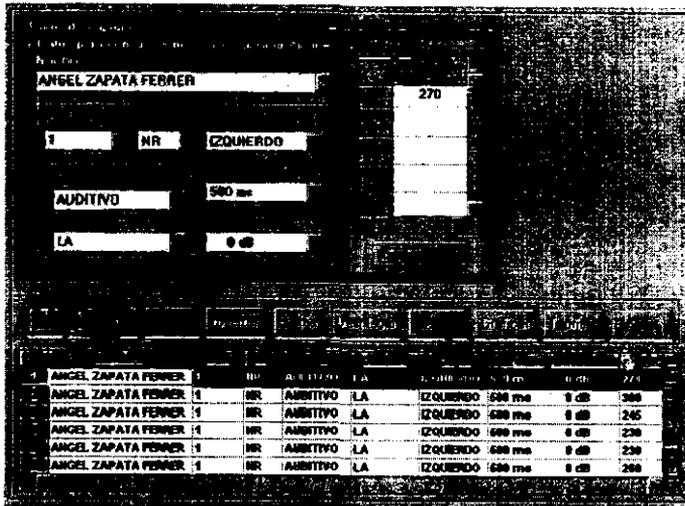


FIG.IV.15. Modificación de los tiempos de reacción

**Observaciones.**

Cuando el botón [Modificar] es pulsado, el área de despliegue de información mostrará las pruebas que cumplen con los datos presentes en la sección de entrada de datos. Este botón se habilita sólo después que se ha pulsado el botón de carga de registros [Δ].

Si se pulsa el botón [Δ] sin que haya datos presentes en el área de despliegue de información se mostrará el siguiente mensaje:



**Modificación del nombre de los pacientes:**

Ocasionalmente se tendrá la necesidad de cambiar el nombre de un paciente. Esta operación se realiza a través de los siguientes pasos:

- Púlsese el botón **[D.P.]**. Esta acción presentará sobre el área de entrada de datos el marco de edición de los nombres.
- Los nombres registrados podrán ser visualizados a través de la caja de texto **Nombre del paciente**. Púlsese las flechas de avance de registro para buscar el nombre a modificar ó escríbase el nombre completo en la caja de texto **Nombre a Buscar** y a continuación púlsese el botón **[Buscar]**.
- Realícense los cambios pertinentes y a continuación púlsese el botón **[Modificar]**.
- Para salir del marco de edición de nombres púlsese el botón **[Salir]**.

**BORRAR INFORMACIÓN.**

**Borrado de pruebas de T.R.**

Esta operación se realiza registro por registro a través de los siguientes pasos:

- Para accesar los datos que van a ser borrados estos deben ser previamente seleccionados y presentados en el área de despliegue de información. Realícese entonces como primer paso la operación de consulta requerida.
- Escógase a continuación la prueba a borrar haciendo clic sobre el número de fila que se encuentra a la izquierda de la columna **Nombre** de la tabla de consulta. El registro cambiará de color indicando que se encuentra seleccionado.
- Púlsese el botón **[Δ]** para que los datos de la prueba sean cargados en los combos del área de entrada de datos. El tiempo de reacción del registro será presentado en la primer celda (1) de la tabla de captura de T.R.s.
- Púlsese el botón **[Borrar]**. La prueba será eliminada de la base de datos.

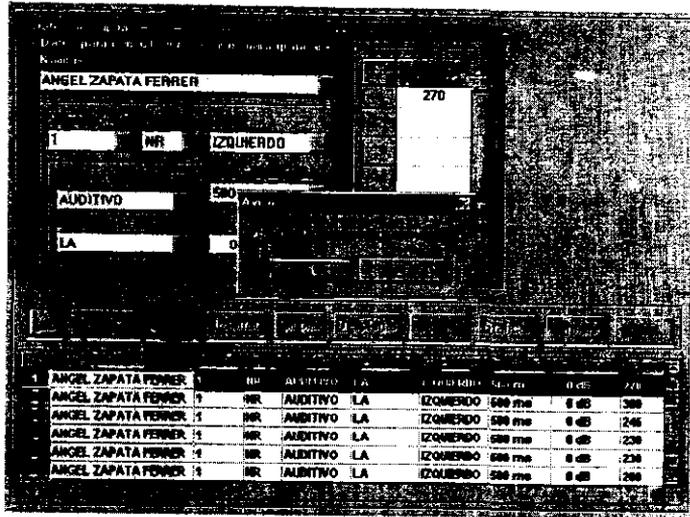


FIG.IV.16. Borrado de los tiempos de reacción

**Observaciones.**

Este botón se habilita sólo después que se ha pulsado el botón de carga de registros [Δ].

**Borrado de los nombres de los pacientes:**

Esta operación se realiza a través de los siguientes pasos:

- Púlsese el botón [D.P.]. Esta acción presentará sobre el área de entrada de datos el marco de edición de los nombres.
- Los nombres registrados podrán ser visualizados a través de la caja de texto Nombre del paciente. Púlsese las flechas de avance de registro para buscar el nombre a borrar ó escríbase el nombre completo en la caja de texto Nombre a Buscar y a continuación púlsese el botón [Buscar].
- Púlsese el botón [Borrar]. Realizada esta acción se mostrará el siguiente mensaje:



El investigador podrá continuar con esta operación pulsando el botón [Sí] ó tendrá la posibilidad de abortarla pulsando [No]. Deberá tenerse en mente que la eliminación de un sujeto conlleva la eliminación de toda la información referente a éste en la base de datos y que una vez eliminada no podrá ser recuperada.

- Para salir del marco de edición de nombres púlsese el botón [Salir].

**GRAFICAR INFORMACIÓN**

El programa puede graficar los tiempos de reacción a un estímulo específico de un paciente a través de dos tipos de salidas:

- **Gráfica de sesión.** Muestra el número de pruebas ó ensayos realizados en una sola sesión vs. el tiempo de reacción obtenido en cada prueba.
- **Gráfica de Resumen.** Muestra el número de sesiones realizadas vs. el tiempo de reacción promedio obtenido de cada sesión.

Para la obtención de las gráficas siganse tres sencillos pasos:

- 1) Definición de los parámetros de graficación.
- 2) Obtención de la consulta.
- 3) Obtención de las gráficas.

*Definición de los parámetros de graficación.*

- Selecciónese el nombre del sujeto cuya información se desea graficar.
- Selecciónese la sesión a consultar.
- Selecciónese el tipo y las características del estímulo aplicado
- Finalmente elijase el tipo de prueba que haya sido realizada.

*Obtención de la consulta.*

- Púlsese el botón **[Desplegar]** para obtener la consulta basada en los parámetros especificados.

*Obtención de las gráficas.*

- Púlsese el botón **[Graficar]** para obtener las salidas gráficas. Estas aparecerán en la sección de gráficas.

El procedimiento de modificación de registros puede ser utilizado como una forma rápida de seleccionar los parámetros necesarios dentro de la operación de obtención de las gráficas. Como se verá a continuación:

- Púlsese el botón **[Limpiar]** para blanquear la pantalla en caso de ser necesario
- Púlsese el botón **[Desplegar]** para visualizar la información almacenada en la base de datos.
- Realizar la búsqueda de algún registro que contenga los parámetros de interés y seleccionarlo haciendo clic sobre el índice de la fila a la izquierda de la columna Nombre. Púlsese a continuación el botón **[Δ]** para cargar automáticamente los parámetros de graficación en los combos de la sección de entrada de datos.
- Púlsese el botón **[Modificar]** seguido del botón **[Desplegar]** para la consecución de la consulta.
- Púlsese finalmente el botón **[Graficar]** para obtener las salidas gráficas.

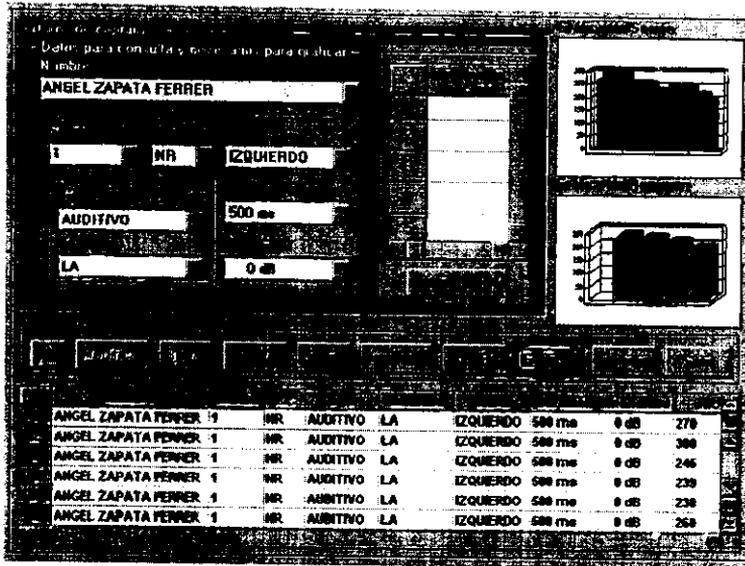


FIG.IV.17. Graficación de los tiempos de reacción

**Observación:**

La operación [Graficar] será posible siempre y cuando estén determinados previamente la totalidad de los parámetros de graficación y la consulta relacionada a estos esté presente en la área de despliegue de información.

**Gráficas**

Cumplidas todas las condiciones y tras pulsar el botón [Graficar] las gráficas aparecerán en la sección correspondiente. La gráfica de sesión estará situada en la parte superior de la sección, mientras que la gráfica de resumen estará situada en la parte inferior.

Cada gráfica puede tener dos tamaños posibles:

- Maximizada, esto es, la gráfica ocupa toda la pantalla ó
- Normal, esto es, tal como se muestra en la sección correspondiente.

Para cambiar el tamaño de la gráfica de sesión proceder de la siguiente forma:

- Hágase clic sobre la gráfica. Esta acción despliega un diálogo de resumen. Este diálogo contiene el paciente seleccionado, el tipo de prueba y tipo de estímulo empleado así como sus características. También se muestra el número de la sesión graficada, el número de pruebas que la componen y el promedio de los tiempos de reacción.



- Pulsar el botón [Si] para maximizar la gráfica. En este caso todos los elementos de la pantalla son ocultados a excepción de la gráfica de resumen.
- La gráfica de resumen puede ser movida a través del área ocupada por la gráfica de sesión realizando arrastres con el botón izquierdo del ratón. Este movimiento sólo es posible cuando la gráfica de sesión esta maximizada.
- Hágase clic nuevamente sobre la gráfica de sesión. Esta acción despliega el diálogo de resumen. Púlsese nuevamente el botón [Si] para regresar a la gráfica a su tamaño normal.

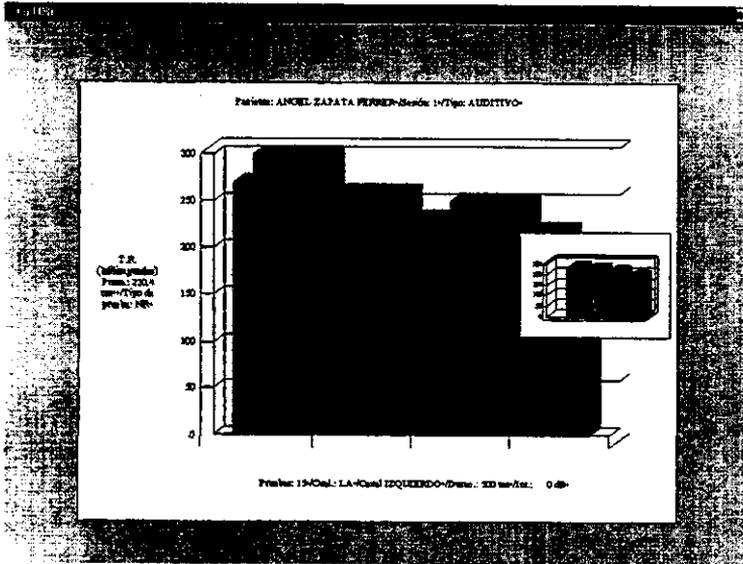


FIG.IV.18. Gráfica de sesión maximizada

Para cambiar el tamaño de la gráfica de resumen proceder de la siguiente forma:

- Hágase clic con el botón derecho del ratón sobre la gráfica. Esta acción despliega un diálogo de resumen. Este diálogo contiene el paciente seleccionado, el número de sesiones consideradas, el tipo de prueba

realizada a lo largo de las sesiones y tipo de estímulo empleado así como sus características. También se muestra el promedio general obtenido de los promedios de las sesiones.



- Pulsar el botón [Sí] para maximizar la gráfica. En este caso todos los elementos de la pantalla son ocultados. Hágase clic nuevamente con el botón derecho del ratón sobre la gráfica. Esta acción despliega nuevamente el diálogo de resumen. Púlsese el botón [Sí] para regresar la gráfica de resumen a su tamaño normal.

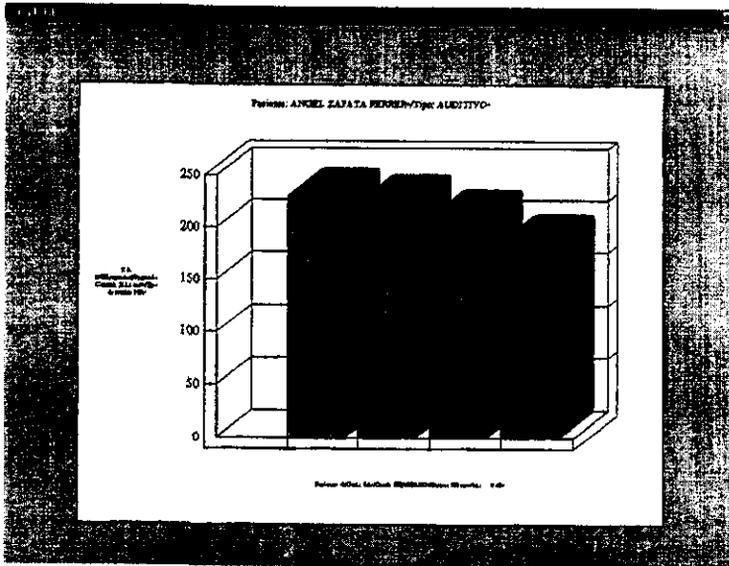


FIG. IV.19. Gráfica de resumen maximizada

**Observaciones**

El cambio de tamaño de la gráfica de resumen puede ser realizado también cuando la gráfica de sesión se encuentra maximizada.

**IMPRESIÓN DE GRÁFICAS**

Para poder realizar esta operación previamente debe ser efectuada una operación de graficar. Cumplida esta condición púlsese el botón **[Imprimir]** para presentar el marco de opciones de impresión.

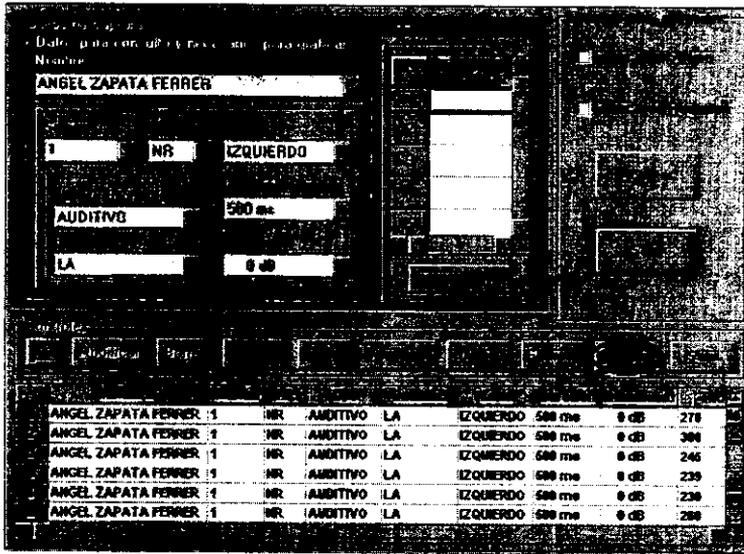


FIG.IV.20. Marco de opciones de Impresión de gráficas

El marco tiene los siguientes elementos:

- **Gráfica de Sesión.** Selecciona la gráfica de la sesión actual para su envío a la impresora.
- **Gráfica de Resumen.** Selecciona la gráfica de resumen para su envío a la impresora.

**[Aceptar].** Envía a la impresora las gráficas seleccionadas.

**[Salir].** Permite salir del marco de opciones de impresión.

La salida impresa de cada gráfica incluye el resumen correspondiente.

**SALIDA DEL SISTEMA**

Para salir del programa se puede:

- Pulsar el botón **[Salir]** ó
- Si se esta en Windows 3.x hacer doble clic en el cuadro de sistema [—] situado en la esquina superior izquierda de la pantalla ó pulsar la secuencia de teclas Alt-F4.

Si se esta en Windows 95 ó superior hacer clic sobre el cuadro de cancelar **[X]** situado en la esquina superior derecha de la pantalla.

---

# **CONCLUSIONES**

---

## CONCLUSIONES

El presente trabajo se centró en el desarrollo de instrumental de medición de apoyo para la investigación biomédica. Se ha visto que el valor del tiempo de reacción ocupa un lugar preponderante dentro de la psicología y la psiquiatría, por lo que el desarrollo de herramientas y dispositivos para su evaluación constituye una actividad de gran importancia para la investigación y el diagnóstico dentro de estas ramas del quehacer humano.

Podemos decir a modo de conclusión lo siguiente:

El sistema desarrollado puede evaluar los tiempos de reacción a estímulos visuales, auditivos y somatosensoriales.

Tiene la capacidad de variar las propiedades de los estímulos, consideradas por la literatura médica como las más importantes e influyentes sobre el valor del tiempo de reacción: la duración, la cualidad y la intensidad del estímulo. Esta libertad de elección permite que el instrumento pueda ser aplicado en numerosos tipos de investigación.

Se puede cambiar la situación espacial de la fuente de estimulación a la izquierda ó a la derecha del sujeto. Esta propiedad permite al investigador hacer una evaluación de la respuesta de cada hemisferio cerebral por separado sin necesidad de mover al sujeto.

El sistema tiene dimensiones reducidas dada su naturaleza digital, prácticamente no precisa de cuidados especiales y únicamente necesita la toma de corriente de 127V.

Es un instrumento especializado construido con tecnología de fácil consecución y de bajo costo; este hecho permite dar respuesta a los requerimientos de los investigadores nacionales que regularmente no cuentan con recursos suficientes para adquirir esta clase de equipos dado que casi siempre son de importación y de costo muy elevado.

El sistema se acompaña de una utilería de software de interface amigable que grafica los datos de tiempo de reacción obtenidos, además de calcular la media aritmética de estos datos. El programa de cómputo se ofrece como un apoyo para la labor de interpretación de la información por parte del investigador.

Como todo sistema, el dispositivo se enfrenta igualmente a algunos inconvenientes. El punto de mayor interés es el aprovechamiento de las capacidades de procesamiento de una computadora lo que implica el establecimiento de una interfaz de comunicación que permita la transferencia automática de la información de los tiempos de reacción del dispositivo al equipo de cómputo. Esta comunicación no se encuentra disponible en el diseño, por lo que la transferencia de los datos todavía se realiza de forma manual. Este aspecto, es prioritario para el mejoramiento a futuro del sistema.

La forma de procesamiento de la información del programa de computo presentado se basa en los requerimientos mínimos de la investigación básica; sin embargo, su utilidad es limitada cuando se requieren análisis más detallados que precisan de procedimientos de cálculo estadístico y de ejecución de tareas.

Los circuitos para configurar los tonos y las frecuencias del pulso para la estimulación auditiva y somatosensorial respectivamente, no son los más eficientes. Para la configuración de los valores de capacitancia obtenidos al aplicar la fórmula de frecuencia del CI 555, se utilizan redes de capacitores que incrementan el costo total del sistema.

No se incluyo la estimulación isócrona.

En base a la experiencia adquirida durante la construcción de este dispositivo, podemos decir finalmente que la generación de equipos e instrumental destinados a apoyar a los médicos en sus actividades de investigación y diagnóstico, exige el conocimiento de varias disciplinas además de las ciencias biológicas como son la electrónica, computación, informática y física, por lo que es de suma importancia establecer un esfuerzo coordinado de profesionales pertenecientes a estas ciencias para el abatimiento de costos y tiempo. Un equilibrio ha de ser buscado a fin de construir tecnología de la mayor calidad posible, sin que por ello se ponga fuera del alcance de la mano de los investigadores de países pobres.

---

# **APÉNDICES**

**FUENTES DE ALIMENTACIÓN  
CIRCUITOS DE CONMUTACIÓN  
COSTO DE MATERIAL**

---

**Apéndice A**

**Fuentes de Poder**

Para suministrar energía al sistema se utilizan dos fuentes de poder separadas, una de ellas polariza a los circuitos integrados TTL por lo que cuenta con salida de +5 V. La segunda fuente polariza los circuitos de conmutación de salida de los estímulos por lo que tiene salidas de +5 y +12 V. El diagrama electrónico se muestra en FIG.A.1. Las fuentes utilizan reguladores de voltaje de circuito integrado de la serie 78XX.

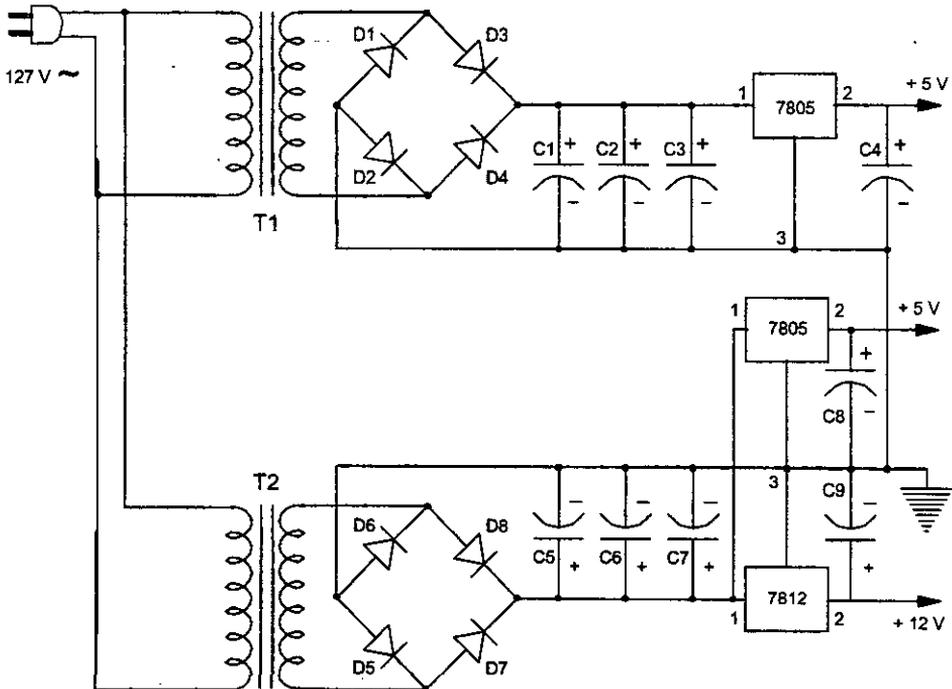


FIG.A.1. Diagrama de las fuentes de voltaje del sistema de medición de T.R.

**Fuente de +5V:**

<b>T1:</b> Transformador con secundario de 12 V y 3A de corriente
<b>D1=D2=D3=D4:</b> Diodo rectificador IN4002
<b>C1=C2=C3:</b> Capacitor electrolítico de 1000 $\mu$ F a 50 volts
<b>CI 7805:</b> Regulador de voltaje de +5 Volts.
<b>C4:</b> Capacitor cerámico de 0.1 $\mu$ F a 25 Volts

Fuente de +12V y +5V:

T2: Transformador con secundario de 24 V y 1A de corriente
D5=D6=D7=D8: Diodo rectificador IN4002
C5=C6=C7: Capacitor electrolítico de 1000 $\mu$ F a 50 volts.
CI 7805: Regulador de voltaje de +5 Volts.
CI 7812: Regulador de voltaje de +12 Volts.
C8=C9: Capacitor cerámico de 0.1 $\mu$ F a 25 Volts

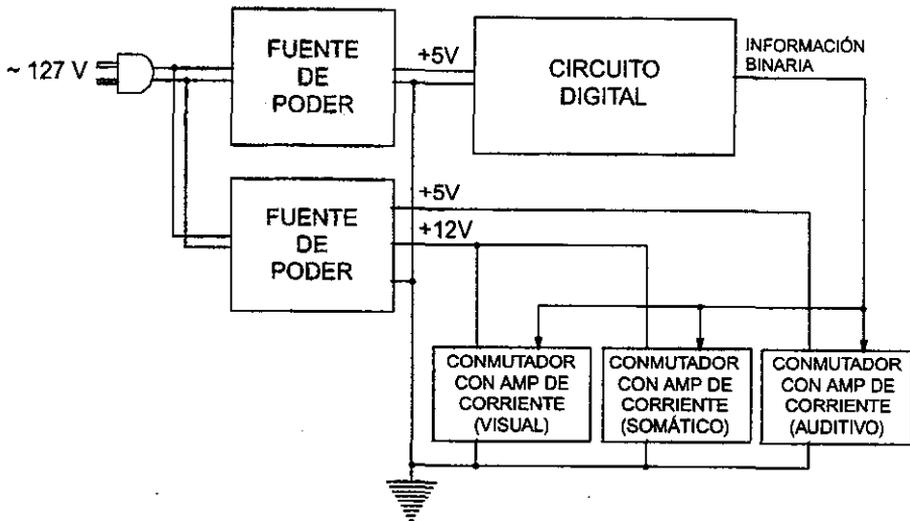


FIG.A.2. Diagrama a bloques de la conexión de las fuentes de alimentación.

## Apéndice B

### Circuitos de Conmutación

#### ESTIMULADOR VISUAL (FIG.HL35)

##### Nivel 1 en $B_{(Q1)}$

Esta condición se presenta cuando no hay presencia del estímulo.  $B_{(Q1)}$  esta polarizada con +5V por lo que:

$$V_{BE(Q1)} = +5V$$

$$I_{B(Q1)} \approx +5V/18000 \Omega \approx 0.00028 A \approx 0.28 mA$$

$Q_1$  se pone en conducción por lo que con  $R_{C(Q1)} = 5600 \Omega$ :

$$I_{C(Q1)} \approx 5V/5600 \Omega \approx 0.00089 A \approx 0.89 mA$$

$I_{B(Q1)}$  será suficiente para saturar a  $Q_1$  con  $h_{FE(Q1)} = 100$  ya que:

$$I_{C(Q1)} = 100 (0.28 mA) = 28 mA$$

Con el transistor  $Q_1$  en saturación se tiene:

$$V_{C(Q1)} \approx 0$$

por lo que:

$$V_{BE(Q2)} \approx 0$$

consecuentemente  $Q_2$  se mantiene en corte esto es:

$$V_{C(Q2)} \approx +12V$$

##### Nivel 0 en $B_{(Q1)}$

Esta condición se presenta durante la presencia del estímulo.  $B_{(Q1)}$  tendrá un potencial de 0V por lo que:

$$V_{BE(Q1)} = 0$$

y:

$$I_{B(Q1)} = 0$$

Con  $Q_1$  en corte se tiene:

$$V_{C(Q1)} = +5V$$

así  $B_{(Q2)}$  se polariza con 5V y se tiene:

$$I_{B(Q2)} \approx 5V/5600 \Omega \approx .00089 A \approx .89 mA$$

Para una  $h_{FE(Q2)} = 100$ , el transistor  $Q_2$  podrá drenar una corriente:

$$I_{C(Q2)} = 100 (.00089 A) = .089 A = 89 mA$$

Asegurando la saturación de  $Q_2$  ya que la lámpara consume hasta 50 mA.

#### ESTIMULADOR SOMATOSENSORIAL (FIG.HL38)

##### Nivel 0 en $B_{(Q1)}$

Bajo esta condición no hay pulso activo.  $B_{(Q1)}$  tendrá un potencial de 0V por lo que:

$$V_{BE(Q1)} = 0$$

$$I_{B(Q1)} = 0$$

Con lo que  $Q_1$  se pone en corte; de esta forma:

$$V_{BE(Q2)} = 0$$

y:

$$I_{C(Q2)} = 0$$

**Nivel 1 en  $B_{(Q1)}$**

Bajo esta condición existe un pulso activo de duración entre 100  $\mu$ F y 2.5 ms. Con  $B_{(Q1)}$  polarizada con +5V durante este periodo se tiene:

$$V_{BE(Q1)} = +5V$$

$$I_{B(Q1)} \approx 5V/56000 \Omega \approx 0.000089 \text{ A} \approx 0.09 \text{ mA}$$

y  $Q_1$  se pone en conducción. Si se tiene  $R_{C(Q1)} = 1000 \Omega$  entonces:

$$I_{C(Q1)} \approx 5V/1000 \Omega \approx .005 \text{ A} \approx 5 \text{ mA}$$

$I_{B(Q1)}$  es suficiente para saturar al transistor  $Q_1$  para  $h_{FE(Q1)} \approx 100$  ya que:

$$I_{C(Q1)} = 100 (0.09 \text{ mA}) = 9 \text{ mA}$$

Con  $Q_1$  en conducción se tiene que:

$$V_{E(Q1)} \approx +5V$$

y por tanto:

$$V_{BE(Q2)} \approx +5V$$

por lo que  $Q_2$  conduce. Si  $h_{FE(Q2)} \approx 100$  se tiene:

$$I_{C(Q2)} = 100 (.005 \text{ A}) = .5 \text{ A} = 500 \text{ mA}$$

Con el primario del transformador de salida aplicado al colector de  $Q_2$ , podemos observar que este último no alcanza su estado de saturación.

**ESTIMULADOR AUDITIVO (FIG.III.39)**

**Nivel 0 en  $B_{(Q1)}$  ó  $B_{(Q2)}$ :**

Esta condición se presenta durante el periodo alto de la señal. Con la base polarizada a 0V tenemos:

$$V_{BE} = -5V$$

$$I_B \approx -5V/2700 \Omega \approx -0.00185 \text{ A} \approx -1.85 \text{ mA}$$

$I_B$  pone en conducción a  $Q_{(1,2)}$ . Con  $h_{FE} = 100$  como mínimo se tiene:

$$I_C = 100 (-0.00185 \text{ A}) = -0.185 \text{ A} = -185 \text{ mA}$$

Para el nivel máximo se tiene  $P_A = 0 \Omega$ . Este nivel corresponde a la máxima amplitud del voltaje través de la carga (bocina) con valor de 8  $\Omega$ . Para un valor pico de 1.3V se tendrá una corriente a través de la bocina de:

$$I_{(BOCINA)MAX} = 1.3V / 8\Omega \approx 0.162 \text{ A} \approx 162 \text{ mA}$$

Esto significa que:

$$I_C = -0.162 \text{ A}$$

Como esta corriente es menor a la corriente que puede drenar el transistor en virtud de la corriente de base consideremos que en el estado de saturación la juntura colector-emisor típicamente tiene un voltaje de:

$$V_{CE} \approx -0.7 \text{ V}$$

por lo que la resistencia total en el colector será:

$$R_C = (-5V - V_{CE})/I_C = (-5V - (-0.7V))/-0.162 A \approx 26 \Omega$$

Para el nivel mínimo se tiene  $P_A=500 \Omega$ . En este caso se tiene:

$$I_B \approx -5V/(R_B + 500 \Omega) \approx -5V/(2700 \Omega + 500 \Omega) \approx -0.00156 A \approx -1.56 \text{ mA}$$

$I_B$  pone en conducción a  $Q_{(1,2)}$ . Con  $h_{FE} = 100$  como mínimo se tiene que el transistor puede drenar una corriente de colector:

$$I_C = 100 (-0.00156 A) = -0.156 A = -156 \text{ mA}$$

Observamos que esta corriente será mayor a la corriente de colector esperada en virtud del estado del potenciómetro PA. La corriente de colector será entonces:

$$I_C = (-5V - V_{CE})/(8\Omega + 18\Omega + 500\Omega) = (-5V - (-0.7V))/(8\Omega + 18\Omega + 500\Omega) = -0.0082 A = -8.2 \text{ mA}$$

mientras que la caída de voltaje entre las terminales de la bocina será:

$$V_{(BOCINA)MIN} = (I_C)(8\Omega) = (0.0082 A)(8\Omega) \approx 0.06V$$

**Nivel 1 en  $B_{(Q1)}$  ó  $B_{(Q2)}$ :**

Esta condición se presenta durante el periodo bajo de la señal. La base se encuentra aproximadamente al mismo potencial del emisor por lo que:

$$V_{BE} \approx 0$$

Bajo esta condición se tiene simplemente que:

$$I_B = 0$$

por tanto:

$$I_C = 0$$

y  $Q_1$  se encontrará en corte.

La atenuación en decibels del nivel mínimo con respecto a la referencia esta dada por:

$$ATN \text{ dB} = 20 \text{ Log}_{10} V_2/V_1$$

Donde dicha referencia es  $V_1$  y  $V_2$  el nivel mínimo. Si hacemos  $V_1 = 1.3V$  y  $V_2 = 0.06V$  tenemos:

$$ATN \text{ dB} = 20 \text{ Log}_{10} 0.06V/1.3V = -26.7 \text{ dB} \approx -27 \text{ dB}$$

La potencia eficaz de la onda cuadrada a través de la bocina esta dada por:

$$P_E = \frac{\frac{1}{T} \int_0^\tau V_p^2 dt}{R_B}$$

donde  $P_E$  es la potencia eficaz en watts,  $T$  el periodo en segundos,  $\tau$  la duración del nivel alto en segundos,  $V_p$  el voltaje pico de la onda cuadrada en volts y  $R_B$  la impedancia de la bocina. Integrando y evaluando esta expresión puede quedar como:

$$P_E = \frac{\tau V_p^2}{TR_B}$$

donde podemos observar que la relación  $\tau/T$  expresa el ciclo de trabajo de la onda.

Para el nivel máximo tenemos que  $\tau/T = 0.4545$ ,  $V_p = 1.3\text{V}$  y  $R_B = 8\Omega$ , por tanto:

$$P_E = [(0.4545) (1.3\text{ V})^2] / 8\Omega = 0.096\text{ watt} \approx 100\text{ mW}$$

## Apéndice C

## Costo de Material

*CIRCUITOS INTEGRADOS*

Tipo	Cantidad	P/U (pesos)	Total (pesos)
555	2	2.10	4.20
74LS00	2	2.50	5.00
74LS02	1	2.50	2.50
74LS08	2	1.50	3.00
74LS109	1	5.00	5.00
74LS125	3	3.50	10.50
74LS138	2	2.90	5.80
74LS139	2	5.50	11.00
74LS14	2	3.50	7.00
74LS155	2	3.00	6.00
74LS157	2	3.30	6.60
74LS192	8	4.00	32.00
74LS221	2	3.50	7.00
74LS247	8	5.30	42.40
74LS32	1	2.00	2.00
74LS76	4	3.90	15.60
74LS85	1	3.00	3.00
74LS90	3	3.20	9.60
LM3915	1	13.30	13.30
<b>SUBTOTAL</b>			<b>191.50</b>

*CAPACITORES*

Valor	Cantidad	P/U (pesos)	Total (pesos)
0.01 $\mu$ F, 25V	14	0.20	2.80
0.1 $\mu$ F, 25V	34	0.25	8.50
1 $\mu$ F, 25V	7	0.40	2.80
10 $\mu$ F, 25V	2	0.30	0.60
100 $\mu$ F 25V	1	0.50	0.50
1000 $\mu$ F, 50V	6	5.00	30.00
2.2 $\mu$ F, 25V	1	0.60	0.60
22 $\mu$ F, 25V	2	0.40	0.80
<b>SUBTOTAL</b>			<b>46.60</b>

*TRANSISTORES*

Tipo	Cantidad	P/U (pesos)	Total (pesos)
BC337	8	0.40	3.20
BC547	9	0.50	4.50
BD135	1	2.80	2.80
TIP32	2	3.20	6.40
<b>SUBTOTAL</b>			<b>16.90</b>

*RESISTENCIAS (1/2 Watt)*

Valor	Cantidad	P/U (pesos)	Total (pesos)
1 K $\Omega$	60	0.10	6.00
1.2 K $\Omega$	2	0.10	0.20
1.5 K $\Omega$	1	0.10	0.10
1.8 K $\Omega$	5	0.10	0.50
18 K $\Omega$	8	0.10	0.80
2.7 K $\Omega$	3	0.10	0.30
200 $\Omega$	1	0.10	0.10
22 K $\Omega$	2	0.10	0.20
220 $\Omega$	2	0.10	0.20
330 $\Omega$	19	0.10	1.90
47 K $\Omega$	6	0.10	0.60
5.6 K $\Omega$	8	0.10	0.80
51 K $\Omega$	1	0.10	0.10
510 $\Omega$	1	0.10	0.10
56 K $\Omega$	1	0.10	0.10
560 $\Omega$	1	0.10	0.10
6.7 K $\Omega$	2	0.10	0.20
7.5 K $\Omega$	1	0.10	0.10
12 $\Omega$	2	0.10	0.20
18 $\Omega$ (1 Watt)	2	1.00	2.00
<b>SUBTOTAL</b>			<b>14.60</b>

*POTENCIÓMETROS*

Valor	Cantidad	P/U (pesos)	Total (pesos)
1 K $\Omega$ (A)	1	21.00	21.00
10 K $\Omega$ (A)	1	21.00	21.00
100 K $\Omega$	1	8.00	8.00
500 $\Omega$ (A)	1	18.00	18.00
<b>SUBTOTAL</b>			<b>68.00</b>

*MISCELÁNEA*

Componente	Cantidad	P/U (pesos)	Total (pesos)
AUDÍFONOS	1	10.00	10.00
BOCINA 8Ω (1Watt)	2	4.50	9.00
CRISTAL DE CUARZO 10 MHZ	1	15.00	15.00
DIODO IN4002	9	2.00	18.00
DISPLAY DOBLE An/Cn	2	20.00	40.00
DISPLAY SIMPLE An/Cn	4	10.00	40.00
ENTRADA DE AUDÍFONO	1	1.00	1.00
FOCO PILOTO (12V)	8	7.00	56.00
INTERRUPTOR (127V)	1	20.00	20.00
INTERRUPTOR (R. M.)	1	10.00	10.00
LED	28	0.90	25.20
PERILLAS P/POT	5	9.00	45.00
PLACA DE COBRE (1 X 2 cm)	4	4.00	16.00
PLUG DE CONEXIÓN (H)	12	1.00	12.00
PLUG DE CONEXIÓN (M)	12	1.00	12.00
PUSH BUTTON	8	5.00	40.00
SWITCH DP,DT (127V)	1	9.00	9.00
SWITCH UP,DT	2	6.00	6.00
TRANSFORMADOR (127/24V)	1	37.00	37.00
TRANSFORMADOR (127V/12V)	1	32.00	32.00
TRANSFORMADOR (12V/120V)	1	30.00	35.00
<b>SUBTOTAL</b>			<b>488.20</b>

*REGULADORES DE VOLTAJE*

Tipo	Cantidad	P/U (pesos)	Total (pesos)
7805	2	2.20	4.40
7812	1	2.50	2.50
<b>SUBTOTAL</b>			<b>6.90</b>

*CONEXIONES*

Tipo	(metros)	P/metro (pesos)	Total (pesos)
Blindaje	0.5	16.00	8.00
Cable PPM (conducción del estímulo somático)	3	6.00	18.00
Cable de cobre (conducción del estímulo visual y auditivo)	3	2.00	5.00
Cable de cobre de propósito general.	1	2.00	2.00
Cable plano de 20 hilos.	1.5	12.00	18.00
<b>SUBTOTAL</b>			<b>51.00</b>

<b>TOTAL</b>			<b>883.70</b>
--------------	--	--	---------------

---

# **BIBLIOGRAFÍA**

---

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Sinclair, I.R.  
ELECTRÓNICA DIGITAL  
Editorial Alhambra.
- 2.- Dempsey, John A.  
ELECTRÓNICA DIGITAL BÁSICA CON APLICACIONES MSI  
Editorial Representaciones y Servicios de Ingeniería S. A.
- 3.- Forrest M. Mims III  
ENGINEER'S NOTEBOOK: A HANDBOOK OF INTEGRATED CIRCUIT APPLICATIONS  
Contributing Editor Popular Electronics
- 4.- FAST AND LS TTL MANUAL 1989  
Motorola
- 5.- Nashelsky  
FUNDAMENTOS DE TECNOLOGÍA DIGITAL  
Editorial Limusa, Noriega Editores
- 6.- Mano, Morris  
LÓGICA DIGITAL Y DISEÑO DE COMPUTADORAS  
Editorial Prentice-Hall
- 7.- Vallejo, Horacio D.  
SABER ELECTRÓNICA  
Edición Mexicana, Año 8 , No. 9 y No. 10
- 8.- Tocci, Ronald J.  
SISTEMAS DIGITALES, PRINCIPIOS Y APLICACIONES  
Editorial Prentice-Hall
- 9.- Beiser, Arthur.  
FÍSICA APLICADA  
Editorial Mc Graw-Hill, 1986

10.- Contreras Campos, Enrique

FÍSICA ELEMENTAL

Editorial Herrero, 1969

11.- Schaum, Daniel.

FÍSICA GENERAL

Editorial Mc Graw-Hill, 1985

12.- López Arriola, C. J. y Melendez Puente, P.

DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE REGISTRO DE TIEMPO DE REACCIÓN

Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica, Vol. 8, 1987, páginas 131-141

13.- Cuevas Novelo, Alberto

FISIOLOGÍA GENERAL

Editorial Librería de Medicina, 1962

14.- Gardner, Ernest

FUNDAMENTOS DE NEUROLOGÍA

Editorial Interamericana, 1973

15.- Castellanos, P. y Colaboradores

INSTRUMENTO PARA LA MEDICIÓN DE 50 TIEMPOS DE REACCIÓN

Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica, Vol. 13 (2), 1992

16.- Schiffman, Harvey Richard

LA PERCEPCIÓN SENSORIAL

Editorial Limusa, 1993.

17.- Zapata, Ángel y Colaboradores

MEMORIAS DEL CONGRESO DEL IEEE MEXICON 78, 1978

18.- Fraisse, Paul y Piaget, Jean (Compilación)

SENSACIÓN Y MOTRICIDAD - Chochole, René; LOS TIEMPOS DE REACCIÓN

Ed. Paidós, 1972, Argentina

19.- Thompson, Richard y Patterson, Michael (Compilación)

BIOELECTRIC RECORDING TECHNIQUES

Goff, William R., HUMAN AVERAGE EVOKED POTENTIALS: PROCEDURES FOR STIMULATING AND RECORDING

Academic Press, U.S.A., 1974

---

20.- Lorenzo, I.; Corsi Cabrera, M. y Colaboradores

EFFECT OF TOTAL SLEEP DEPRIVATION ON REACTION TIME AND WAKING EEG ACTIVITY IN MAN

Sleep, Vol. 18 (5), 1995, páginas 346-254

21.- Liotti, Mario y Colaboradores

DIFFERENTIAL HEMISFERIC ASYMMETRIES IN DEPRESSION AND ANXIETY: A REACTION-TIME STUDY

Biol Psychiatry, 1991 (29), páginas 887-899

22.- Corsi Cabrera, M. y Colaboradores

TIME COURSE OF REACTION TIME AND EEG WHILE PERFORMING A VIGILANCE TASK DURING TOTAL SLEEP DEPRIVATION

Sleep, 1996, Vol. 19 (7), páginas 563-569

23.- Nelson, Ross

VISUAL BASIC PARA WINDOWS, GUIA COMPLETA

Ed. Mc-Graw-Hill