



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

51
24.

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

" A R A G O N "

"FUNDAMENTOS Y ARQUITECTURA DE LOS
MICROPROCESADORES DE 32 BITS, SISTEMAS
EXPERTOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y SU
APLICACION A LA BIOINGENIERIA"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

GUTIERREZ CASTRO BELINDA

ASESOR: ING. DAVID MOISES TERAN PEREZ

SAN JUAN DE ARAGON,

MAYO DE 1997.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO por brindarme la valiosa oportunidad de pertenecer a esta Máxima Casa de Estudios, desde el Nivel Medio Superior hasta el Nivel Superior en particular en mi ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "Campus Aragón", lugares donde he recibido tantos beneficios, conocimientos, bendiciones y alegrías, Escuelas donde he tenido el Orgullo de poderme formar como profesionista, además de tener y conocer para este fin, profesores de excelente calidad humana y alto Nivel de conocimientos que han sido guías y ejemplo a seguir y que fueron indispensables para mí, por todo lo que me has dado ¡GRACIAS!

Agradezco infinitamente a mi MAMA, por ser una finísima persona, que ha velado por mi bienestar y que me ha apoyado siempre es una gran mujer que ha sabido salir Avante en la Vida.

¡GRACIAS MAMI!

También deseo agradecer profundamente al MAESTRO RAMON SALAT FIGOLS, por creer siempre en mí, por su paciencia, por su calidad de enseñanza así como humana y por su ayuda que fue fundamental para el entusiasmo, elección y seguimiento de la Profesión que elegí, GRACIAS QUERIDO MAESTRO.

Héctor, quiero agradecerte la paciencia, el amor y todo lo que involucra a una pareja en un matrimonio, has sido muy gentil conmigo y me demuestras tu Amor cada día que me apoyas en mis decisiones cuando ambos creemos que son correctas ¡Gracias Amor!

Gracias a mis Amigos, ENRIQUE, PEDRO, EMILIO y al ING. ELEAZAR PINEDA, por brindarme su Amistad y todas las vivencias que tu vimos para mí serán inolvidables.

Agradezco al ING. MOISES TERAN PEREZ, por apoyarme en el Aseoramiento de esta tesis.

A mi Madre

Linda, por su amor y apoyo incondicional.

A mi esposo

Héctor Emanuel, por su ayuda, amor y comprensión.

A mi Abuela

Francis, por creer en mí.

A mi padre

*Cris, que siempre fue un ejemplo
entusiasta por luchar por la vida,
desearo que recupere
ese amor y esperanza que ha perdido.*

A mis hermanos

Marco, Cris, Adán y Omar.

*con la fe de que el ejemplo de realizar este trabajo,
les sea útil para seguir siempre adelante,
aún con los obstáculos que nos presenta la vida.*

Y, a Tito y Daphne

*que aún son muy pequeños,
les dedico esta tesis con mucho cariño.*

JUSTIFICACIÓN

Como parte de la justificación del presente trabajo de tesis se analiza lo siguiente:

Cuando se mira hacia adelante para ver a donde conduce la carrera tecnológica, es preciso hacerse tres preguntas: *¿Qué es posible, qué es factible y qué es deseable?*

Primero, en lo que concierne a los artefactos, las leyes naturales fijan límites a lo posible. Debido a que los ensambladores abrirán un camino hacia esos límites, comprenderlos es una clave para comprender qué es posible.

Segundo, los principios del cambio y los hechos de nuestra situación presente fijan límites a lo factible. Debido a que los replicadores (los componentes básicos de la Bioingeniería) en evolución tendrán un rol básico, los principios de la evolución son una clave para la comprensión de qué será factible.

Respecto a qué es deseable e indeseable, nuestros diferentes sueños estimulan la búsqueda de un futuro que deje lugar a la diversidad, mientras que nuestros miedos compartidos estimulan la búsqueda de un futuro de seguridad. Estas tres preguntas, dan el marco de un enfoque hacia la previsión. Primero, los conocimientos científicos y de ingeniería forman un mapa de los límites de lo posible. Aunque todavía difuso e incompleto, este mapa esboza los límites permanentes dentro de los cuales el futuro se moverá. Segundo, los principios evolutivos determinan qué caminos están abiertos y fijan límites a lo factible, incluyendo límites inferiores, porque los avances que prometen mejorar la vida o aumentar el poder militar serán prácticamente imparables. Esto permite una predicción limitada: Si la carrera evolutiva, de millones de años de antigüedad, no se detiene abruptamente de algún modo, entonces las presiones competitivas moldearán nuestro futuro tecnológico según los contornos de los límites de lo posible. Finalmente, dentro de los amplios confines de lo posible y lo factible, podemos intentar alcanzar un futuro que hallemos deseable. *¿ Pero cómo pueda alguien predecir el futuro ?*

Las tendencias políticas y económicas son notoriamente volubles y el mero azar arroja sus dados a través de continentes. Aún el avance comparativamente estable de la tecnología elude con frecuencia la predicción. Los pronosticadores generalmente proveen los tiempos y costos requeridos para llegar a dominar nuevas tecnologías. Cuando van más allá de esbozar posibilidades e intentan predicciones exactas, usualmente fracasan. Por ejemplo, aunque el transbordador espacial era claramente posible, las predicciones de su costo y fecha de lanzamiento inicial fueron erróneas en varios años y miles de millones de pesos. Los ingenieros no pueden predecir de forma precisa cuándo una tecnología será desarrollada, porque su desarrollo siempre depende de imponderables.

Pero debemos intentar predecir y guiar el desarrollo. Desarrollaremos tecnologías monstruosas antes de las tecnologías que permiten enjaularlas ó después. Algunos monstruos, una vez liberados, no pueden ser enjaulados. Para sobrevivir, debemos mantener el control mediante la aceleración de algunos desarrollos y el retardo de otros. Aunque una tecnología pueda, a veces, bloquear los peligros de otra, las tecnologías competidoras van frecuentemente en la misma dirección.

La ciencia y la tecnología son interdependientes. Los ingenieros usan el conocimiento producido por los científicos; los científicos usan las herramientas producidas por los ingenieros. Científicos e ingenieros trabajan con descripciones matemáticas de las leyes naturales y contrastan sus ideas mediante experimentos. Pero ciencia y tecnología difieren radicalmente en sus fundamentos, métodos y metas. Comprender estas diferencias es crucial para una previsión sólida. Aunque ambos campos consisten en sistemas de menos evolución, cada uno evoluciona bajo diferentes presiones. Considérense las raíces del conocimiento científico.

ANTECEDENTES AL TRABAJO

El 27 de Marzo de 1981, el noticiario radiofónico de la cadena CBS citó a un científico de la NASA, que habla dicho que los ingenieros podrían construir robots autorreplicadores (que son las bases de la Bioingeniería) en los veinte años siguientes, para su uso en el espacio ó en la Tierra. Estas máquinas construirían copias de sí mismas y las copias se dedicarían a la fabricación de productos útiles. No tenía ninguna duda acerca de su posibilidad, sólo acerca de cuándo se construirían. Y tenía razón.

Desde 1951, cuando Jonh Von Neumann delineó los principios de las máquinas autorreplicables, los científicos han reconocido su posibilidad. En 1953, Watson y Crick describieron la estructura del ADN, lo que mostraba cómo los seres vivientes transmiten las instrucciones que guían su construcción. Los biólogos han aprendido desde entonces, con creciente detalle, como funciona la maquinaria molecular autorreplicante de la célula. Hallaron que ésta sigue los principios que Von Neumann había delineado. Así como los pájaros prueban la posibilidad del vuelo, así la vida en general prueba la posibilidad de la autorreplicación, por lo menos mediante sistemas de máquinas moleculares. El científico de la NASA, sin embargo, tenía algo más en mente: El concepto de las Redes Neuronales.

Una Red Neuronal es básicamente, el resultado de los intentos de reproducir mediante computadores el funcionamiento del cerebro humano. Nuestro órgano pensante está compuesto por miles de millones de neuronas, interconectadas de forma variable y compleja. Su peculiar forma de trabajo le convierte en el dispositivo más eficaz para procesar la información que suministra el mundo real. Cada neurona recibe impulsos precedentes de otras neuronas, que procesa individualmente dándoles un peso determinado. Después transmite la señal resultante a otras neuronas, siguiendo una configuración variable para cada caso. Las Redes Neuronales tratan de simular este proceso en un equipo informático. El papel de las neuronas corresponde en ellas a los llamados nodos, pequeñas unidades inteligentes con capacidad para almacenar y procesar señales.

Al igual que las neuronas en el cerebro humano, cada nodo recibe unas señales que proceden del exterior de la Red ó de otros nodos, las procesa (dando diferente peso a cada una) y genera una única señal de salida que se transmite a otros nodos. Desde el punto de vista práctico, un nodo debe poseer los medios para almacenar señales y procesarlas según pesos ó funciones. Por ello, los nodos deben ser circuitos electrónicos, ordenadores ó fragmentos de programas.

Para simplificar el diseño de las Redes, los especialistas realizan topologías sencillas de distribución de nodos, disponiéndolos en capas sucesivas.

Una de las más empleadas las sitúa en tres niveles (entrada, intermedio y salida) en los que cada nodo actúa con las señales de la misma forma. La topología es sencilla de llevar a la práctica (mediante un programa de computadora, por ejemplo) y produce Redes Neuronales que aprenden por sí mismas. En los inicios de la Revolución Tecnológica, cuando se querían obtener diferentes señales de salida de un sistema, dependiendo de los tipos y niveles de estímulo presentes en su entrada, era necesario dotarle de una relación matemática entre dichas entradas y salidas. Con la aparición de las Redes Neuronales, el sistema se autorregula, deduciendo los pesos que debe dar a las distintas señales y la forma de conectar los nodos. Tras esta regulación, puede trabajar en situaciones para las que aún no se hayan establecido reglas de funcionamiento.

Una Red Neuronal nueva establece las conexiones de cada nodo de forma convencional. Su proceso de aprendizaje empieza al darle una pareja de datos de entrada y salida. La Red va haciendo pruebas mediante la determinación de los pesos más convenientes y de las conexiones entre nodos más adecuadas. Al cabo de varios intentos, repetidos con diferentes parejas de datos de entrada y salida conocidos, el sistema está ya educado; es decir, en condiciones de trabajar, la información que almacena una Red se halla dispersa por todos sus nodos, lo que le confiere características distintas a las de un ordenador convencional y le hace propensa a las fallas.

PLAN PROPUESTO

Como una forma de comprender mejor este trabajo de tesis se hace un desglose de los capítulos de la siguiente manera:

1.- En el *Capítulo I*, se analizan los conceptos básicos de los μP 's de 32 Bits. Es también muy importante el dar una correcta introducción de los conceptos e ideas que se engloban dentro del campo de la Inteligencia Artificial y los Sistemas Expertos de una forma sencilla, pero bien objetiva.

2.- En el *Capítulo II*, se analiza a detalle, la Arquitectura del $\mu P80386$; siendo muy específico en cuanto al conexionado, la arquitectura interna y el manejo del repertorio de instrucciones propias de este μP . En este capítulo, se desea establecer toda la información inherente al μP y conocerlo sólidamente.

3.- En el *Capítulo III*, se analiza también a detalle, la Arquitectura del $\mu P80486$; en este capítulo se realiza el estudio del μP exactamente igual que para el punto anterior.

4.- En el *Capítulo IV*, se analiza básica y detalladamente: La Inteligencia Artificial (IA) y a los Sistemas Expertos (SE). De igual forma, todo lo relacionado con los conceptos anteriores, y una disertación muy amplia sobre sus posibilidades reales de aplicación.

5.- Finalmente, en el *Capítulo V*, se analizan las aplicaciones que se pueden dar a los Sistemas Expertos y a la Inteligencia Artificial, específicamente a la Bioingeniería. Considerándose sólo una aplicación: La construcción de una retina artificial totalmente manejada con un sistema basado en μP .

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Conocer y estudiar detalladamente, las características de la Arquitectura, Programación y Aplicación de los μP 's de 32 Bits, y el desarrollo de la inteligencia artificial y de los sistemas expertos combinados para la Aplicación a la Bioingeniería.

OBJETIVOS PARTICULARES

- 1.- Conocer los fundamentos de los μP 's de 32 Bits, así como, las definiciones básicas que se involucran en los Sistemas Digitales basados en μP 's.
- 2.- Conocer detalladamente la Arquitectura interna del $\mu P80386$, así como su conexionado y el repertorio de instrucciones para su programación.
- 3.- Conocer detalladamente la Arquitectura interna del $\mu P80486$, así como su conexionado y el repertorio de instrucciones para su programación.
- 4.- Establecer los conceptos básicos de los Sistemas Expertos y la Inteligencia Artificial, así como las posibilidades de estas técnicas específicas en la solución de problemas.
- 5.- Conocer una aplicación que se puede implementar mediante la utilización de los Sistemas Expertos, la Inteligencia Artificial y los Microprocesadores de 32 Bits a las Fluctuaciones de la actividad de la Bioingeniería.

INDICE

| | |
|--|-----------|
| JUSTIFICACIÓN..... | II |
| ANTECEDENTES AL TRABAJO..... | IV |
| PLAN PROPUESTO..... | VI |
| OBJETIVOS..... | VII |
| | |
| CAPITULO I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| | |
| CAPITULO II. MICROPROCESADOR 80386..... | 12 |
| II.1. Introducción..... | 12 |
| II.2. Arquitectura del Microprocesador 80386..... | 15 |
| II.3. Características del Microprocesador 80386..... | 16 |
| II.4. Sistema con Acopladores..... | 17 |
| II.5. Interrupciones en el Microprocesador 80386..... | 18 |
| II.6. Conexiones del Microprocesador 80386..... | 21 |
| II.7. Repertorio de Instrucciones del Microprocesador 80386..... | 24 |
| | |
| CAPITULO III. MICROPROCESADOR 80486..... | 30 |
| III.1. Introducción..... | 30 |
| III.3. Modo de Operación del Microprocesador 80486..... | 32 |
| III.4. Registros Internos del Microprocesador 80486..... | 37 |
| III.5. Juego de Instrucciones del Microprocesador 80486..... | 37 |
| | |
| CAPITULO IV. SISTEMAS EXPERTOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL..... | 49 |
| IV.1. Introducción..... | 49 |
| IV.2. Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos..... | 50 |
| IV.3. ¿Pueden las Computadoras Pensar?..... | 54 |
| IV.4. La Vida y el Pensamiento, Formas Particulares de Existencia de la Materia..... | 57 |
| IV.5. Los Modelos de los Procesos Vitales y la Fisiología del Cerebro..... | 63 |
| IV.6. ¿Es Posible Crear Artificialmente la Vida?..... | 68 |
| | |
| CAPITULO V. APLICACIONES A LA BIOINGENIERIA..... | 77 |
| V.1. Introducción..... | 77 |
| V.2. Potenciales Evocados..... | 82 |
| V.2.1. ¿Cómo se Obtienen los Potenciales Evocados?..... | 82 |
| V.2.2. ¿De qué consta un Sistema Promediador?..... | 90 |
| V.2.3. ¿De dónde se Obtienen los Potenciales Evocados?..... | 85 |
| V.2.4. Aplicación de los Potenciales Evocados..... | 91 |
| V.2.5. División de los Potenciales Evocados..... | 91 |
| V.3. Sistema Sensorial de la Visión..... | 105 |
| V.3.1. Introducción..... | 105 |
| V.4. Visión..... | 105 |
| V.5. La Óptica del Ojo..... | 108 |
| V.6. Células Receptoras..... | 112 |
| V.7. Codificación del Sistema Visual..... | 114 |
| V.8. Retina..... | 115 |
| V.9. Corteza Visual..... | 116 |
| V.10. Visión de los Colores..... | 117 |

| | | |
|--------------------------|--|------------|
| V.11 | Control del Movimiento Ocular..... | 118 |
| V.12 | Hacia la Construcción de una Retina Artificial..... | 119 |
| V.13 | Circuitos Integrados para la Visión a partir de una Prótesis de Retina Artificial..... | 122 |
| V.14 | Sensores no Convencionales..... | 123 |
| V.15 | Fotosensores Adaptativos..... | 124 |
| V.16 | Digitalización de las Imágenes con Regillas Resistivas..... | 125 |
| V.17 | Procesamiento de la Retina..... | 129 |
| V.18 | Movimiento..... | 130 |
| V.19 | Implante Ocular para la Ceguera..... | 134 |
| V.20 | ¿Dónde debe ir el Implante?..... | 138 |
| V.21 | Otros Posibles lugares para colocar el Implante..... | 139 |
| CONCLUSIONES..... | | 146 |
| GLOSARIO..... | | 150 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | | 158 |

CAPITULO I

INTRODUCCION

Este trabajo de tesis, se refiere a los sistemas basados en Microprocesadores, en la aplicación real de esos sistemas de control a la llamada Inteligencia Artificial y los Sistemas Expertos. Es decir, la solución de problemas con el uso de la Microelectrónica (como por ejemplo, la nanotecnología), los Sistemas de Comunicaciones, los conceptos de la Psicología y los propiamente Biológicos. Es importante hacer mención de que para poder desarrollar este tipo de complejos sistemas, se requiere el conocimiento del concepto de "Inteligencia". Un tema que en realidad no se conoce muy bien. ¿Por qué? Quizá en parte porque nadie ha tenido la oportunidad de estudiar otros tipos de inteligencia aparte de la humana. ¿Por qué esto es importante? Porque es muy difícil entender nada si no se tiene otras cosas con que compararlo. Solamente cuando examinamos muchos ejemplos diferentes podemos empezar a distinguir los principios generales importantes y separarlos de la miríada de hechos interesantes, pero a menudo no importantes y accidentales, referentes a casos concretos. Los biólogos han descubierto casi todo lo que saben llevando a cabo estudios comparativos de varios tipos de animales, plantas, bacterias y virus. También hemos podido aprender muchas cosas sobre nuestra cultura estudiando las de otras naciones, tribus y comunidades; y hemos aprendido muchas cosas sobre nuestro lenguaje comparándolo con los idiomas y literaturas de otros pueblos. Pero nunca hemos podido estudiar muy bien la "Inteligencia Comparada", simplemente porque no hay otras especies animales cuya inteligencia sea realmente comparable con la nuestra. Es cierto que podemos estudiar cómo piensan los niños, y esto nos ha enseñado muchas cosas sobre el funcionamiento de nuestras mentes; sin embargo, el joven humano se parece demasiado al adulto. Podemos estudiar a los chimpancés, que también se parecen mucho a nosotros, y podemos estudiar a los elefantes, delfines y perros, cuyas mentes son desde luego menos semejantes a las nuestras. Pero no podemos aprender muchas cosas de ellos y menos todavía de otros animales, porque no tienen en grado suficiente lo que nosotros consideramos como "Inteligencia".

Por fin, tenemos la posibilidad de conocer mentes realmente extrañas. Nuestros primeros encuentros no tendrán lugar con inteligencias muy evolucionadas en otros planetas (nadie puede predecir cuándo sucederá esto). Ahora parece mucho más probable que nuestros primeros encuentros con mentes "Extrañas", se produzcan con las que nosotros mismos hemos construido; con nuestras propias máquinas de Inteligencia Artificial. Y a juzgar por lo que han sido ahora sus antecesoras, podemos estar seguros de que serán tan distintas de nosotros que darán amplia materia al pensamiento comparado. El único problema es que no sabemos si pronto podremos trabar conocimiento con ellas, porque no sabemos qué hacer para que las máquinas sean inteligentes. ¿En qué consiste exactamente el problema? Según se ha comprobado, la mayoría de personas ajenas al campo de la Inteligencia Artificial está convencida de que saben lo que es: Creen que la IA tiene alguna relación con los misterios de la inspiración, la creatividad, la intuición, la originalidad y la emoción.

Sin embargo, si algo hemos aprendido en las investigaciones sobre IA, es que ésta no es la mejor manera de describir el problema. El problema de cuando se admiran los grandes éxitos de los mejores pensadores humanos, atletas y personajes sernejantes;

es que dejamos de lado las cosas maravillosas que todos nosotros hacemos cuando caminamos, hablamos, miramos, razonamos y planeamos. No es preciso iniciar las investigaciones sobre IA intentando escribir programas de ordenador que pinten grandes pinturas ó que escriban brillantes obras teatrales. En esta fase podemos aprender más intentando desarrollar programas que puedan distinguir con la vista un perro de un gato ó que puedan sostener una conversación sencilla.

Cuando los investigadores de IA intentaron por primera vez que los ordenadores reprodujeran las capacidades humanas, nos encontramos con una curiosa paradoja. No tuvo que pasar realmente mucho tiempo para que los ordenadores hicieran cosas como jugar ajedrez, demostrar teoremas que asombraban a los matemáticos y diseñar circuitos que los ingenieros tenían dificultad en imaginar. Estas máquinas, que no pasaban de ser ordenadores regulares con programas, eran muy impresionantes. Sus descendientes actuales se llaman Sistemas Expertos, y cada día se les descubren nuevas y útiles aplicaciones.

El problema es que todos están demasiado estrechamente especializados; sólo funcionan dentro de los contextos ó de los entornos para los cuales se diseñaron. Cuando intentamos utilizarlos para algo más, no muestran muchos indicios de tener un sentido común corriente. Pero, ¿por qué cuesta tanto dudar a las máquinas de sentido común? Para responder a la pregunta hay que definir de algún modo el sentido común. El sentido común debería significar literalmente: "Lo que todo el mundo sabe". Pero el sentido común está formado en su mayor parte por cosas que damos por sentadas, por cosas tan naturales y evidentes que nos cuesta ver lo que son, a pesar de que intervienen en casi todo lo que hacemos. Un rasgo del conocimiento basado en el sentido común es que si bien de entrada parece compuesto de reglas, cada una de éstas tiene tantas excepciones que no sirve de mucho saber sólo las reglas generales.

¿Cuál es, pues, la diferencia entre el funcionamiento de los Sistemas Expertos Informáticos y el funcionamiento del Sentido Común Humano? La diferencia consiste en la gama y variedad de los conocimientos que utiliza. El Sistema Experto consigue funcionar utilizando únicamente unas pocas variedades de un conocimiento muy especializado sobre su materia. Dentro de cada una de estas categorías de conocimiento el programa puede "saber" miles de hechos, pero esencialmente todos pertenecen al mismo tipo. Sin embargo, el conocimiento que debe poseer una persona razonable para ir por el mundo ordinario no se parece en nada a esto; tenemos que conocer miles de cosas de tipo diferente. Así pues, hay mucha más complejidad en la manera de estar representadas las cosas en nuestras mentes que en los programas de ordenador. Y esto supone un serio problema porque trabajando de acuerdo con las líneas de nuestras teorías actuales de la Inteligencia Artificial, es difícil descubrir maneras adecuadas de representar cada tipo de conocimiento. El problema puede ser relativamente sencillo, aunque haya enormes cantidades de datos, mientras podamos utilizar sistemas uniformes para representarlo en su totalidad. Los programadores de ordenador llaman a veces a estos sistemas "Estructuras de Datos". La dificultad en relación al sentido común es que necesitamos muchos tipos diferentes de estructuras así; y nadie conoce todavía ningún procedimiento sistemático para enlazarlas sin problemas.

Y sin estos enlaces, las máquinas no pueden llevar a cabo razonamientos ordinarios y razonables. No basta simplemente con programarlas con muchos hechos separados. También necesitamos buenos sistemas que permitan decidir qué hechos deben combinarse, y buenos sistemas para combinarlos.

¿ *Qué tamaño tienen nuestras redes de conocimientos humanos?* Nadie lo sabe con certeza, pero se supone que se necesitaría más de un millón de bits enlazados de conocimiento y menos de mil millones para igualar la mente de cualquier sabio (Mil millones de segundos equivalen a treinta años, y la psicología no ha descubierto ningún sistema para que una persona aprenda algo nuevo cada segundo durante un período prolongado de tiempo). En todo caso comprender la manera de fabricar máquinas que puedan construir en su interior estas redes, parece el problema de investigación más excitante de la época actual.

Sería un error intentar estudiar el razonamiento de sentido común sin estudiar también el proceso de aprendizaje. Un motivo para ello es de orden práctico. Aunque entendamos cómo hacerlo, continuará siendo una tarea enorme programar en una máquina todos los conocimientos que debe poseer una persona razonable. Para vivir en el mundo ordinario cada uno de nosotros debe reconocer y utilizar diez mil tipos diferentes de conceptos. De modo semejante, para participar en convenciones cotidianas sabemos varios significados de un número comparable de palabras. Intentar programar esto sería más fácil y mejor programar nuestras máquinas para que adquieran ellas mismas estos conocimientos: Mirando lo que pasa, manteniendo conversaciones con gente informada, formulando preguntas y llevando a cabo experimentos, leyendo libros y haciendo todo lo que hacen las personas para educarse. Las personas necesitamos tiempo, desde luego, para aprender. Una persona puede convertirse en unos pocos años en un buen ajedrecista ó matemático, pero un niño necesita todavía más tiempo para convertirse en un adolescente competente.

Sin embargo, cuando descubramos un conjunto adecuado de principios para este proceso no hay motivos que impidan a los ordenadores inteligentes aprender con mucha mayor rapidez que nosotros. Hay otra razón para que las máquinas deban tener la capacidad de aprender si realmente han de ser inteligentes. Esta razón es que el conocimiento no es una cosa estática. Cuando resolvemos un problema difícil, siempre entra en juego algún aprendizaje, por lo menos en una escala temporal breve. Es cierto que normalmente concebimos los conocimientos y la memoria como sistemas para almacenar pensamientos con vistas a su uso futuro. Pero durante la solución de cualquier problema complicado necesitamos también seguir la pista de lo que ha sucedido recientemente, para poder cambiar nuestras estrategias y salvar los obstáculos que encontramos. Esto obliga a la mente a tener anotado lo que ha estado haciendo; sin estas notas volveríamos continuamente al principio de cada tarea y repetiríamos sin éxito el proceso una y otra vez. Además, aunque normalmente creemos que el aprendizaje y la memoria son relativamente pasivos en el sentido de que se limitan a tomar nota de lo que sucede, consideremos el proceso que sigue a la resolución de un difícil problema: Si queremos aprender de la experiencia vivida, una parte de nuestra mente ha de disponer de sistemas para decidir qué debe recordar; ha de saber cómo formular hipótesis y juicios sobre los rasgos de la situación actual que podrán aplicarse probablemente a momentos posteriores.

¿ *Cómo funciona el aprendizaje humano?* Sería maravilloso si pudiéramos buscar las respuestas en la psicología y en las ciencias del cerebro. Pero en realidad estas ciencias saben todavía bien poco sobre los mecanismos del aprendizaje y la memoria. Ya se ha dicho que nuestros mejores métodos son los basados en los estudios comparativos, como hizo el gran psicólogo suizo Jean Piaget al investigar el pensamiento de los niños. Como demostró en sus investigaciones, los niños tienen diferentes maneras de pensar en estadios distintos de su desarrollo y podemos aprender muchas cosas sobre cómo desarrollamos el sentido común comparando estos diferentes estadios. Por ejemplo, parece que algunas habilidades no aparecen nunca por sí solas antes que otras; esto sugiere que las habilidades posteriores se basan de algún modo concreto en las

anteriores. Si miráramos sólo a los adultos y no dispusiéramos de estos estudios no descubriríamos nunca estas dependencias internas. Jean Piaget hizo muchas observaciones sobre la naturaleza de los diferentes tipos de pensamiento; algunas no se habían observado nunca, mientras que otras se habían dado siempre por sentadas y se suponía que estaban presentes desde el nacimiento sin sospechar que pudieran desarrollarse a través de la primera y segunda infancia. Los científicos que trabajan en Inteligencia Artificial, están aprendiendo más rápidamente incluso que los psicólogos la representación que adopta el conocimiento en los Sistemas Inteligentes: Ordenadores y cerebros.

Sin embargo, todavía queda mucho por aprender de la Biología, especialmente de la del cerebro; por ejemplo, sobre el almacenamiento del conocimiento en nuestros cerebros. *¿Son los bancos de memoria como compartimientos del refrigerador, dando el tiempo se ha detenido o interacciona lentamente su contenido?*

¿Cuánto tiempo se conservan los recuerdos? ¿Envejecen algunos y mueren? ¿Se debilitan y se desvanecen o se pierden simplemente, y no se encuentran ya más? Sabemos bastantes cosas sobre el tema; por ejemplo, parece ser que los recuerdos raramente se hacen permanentes si no se permite a sus precursores persistir durante una hora o menos. Sin embargo, nadie conoce muchas cosas sobre la naturaleza de la maquinaria o del proceso que convierte recuerdos de corto plazo en otros de largo plazo. Pero sabemos bastantes cosas sobre la velocidad de tales procesos. Sabemos que al parecer la velocidad con que se fijan los recuerdos no varía mucho entre personas distintas.

¿Qué significa para nosotros la "Inteligencia"? No da nunca buen resultado intentar formular definiciones estrechas para cosas que todavía no comprendemos muy bien, por lo tanto limitémonos a decir; que la Inteligencia es la capacidad para resolver problemas que según la gente, exigen Inteligencia. Podemos preguntar entonces: Si la Inteligencia es una cosa sencilla ¿no podría haber muchos Sistemas Inteligentes para que los cerebros o las máquinas piensen? Desde luego nadie conoce aún la respuesta, pero sería ciertamente sorprendente que hubiera un sólo sistema. De hecho algunos especialistas en Inteligencia Artificial confían en adoptar algunos métodos de la lógica y de las matemáticas, métodos en los que todo puede deducirse de unos cuantos principios básicos. Estas teorías buscan métodos muy limpios y lógicos para fabricar máquinas pensantes.

Otros investigadores no creen que esto funcione. Dicen que es imposible descubrir tales sistemas de lógica. En cambio creen que si queremos fabricar máquinas que puedan tener buenas ideas debemos proporcionarles la capacidad de utilizar analogías vagas y aproximadas. Estas máquinas no se diseñarían alrededor de un número muy reducido de principios siempre aplicables, sino que acumularían una cantidad grande, y al final enorme, de conexiones entre observaciones y experiencias. Estas máquinas de analogía se irían haciendo luego cada vez más capaces de intuir qué situaciones vividas en el pasado son más semejantes a las nuevas, y tratarlas así de modo efectivo. Pero *¿cómo podrá decidir una máquina así qué cosas son "semejantes"? Cuando uno empieza a pensar en este sistema para construir inteligencia utilizando el "Pensamiento por Analogía", descubre que es de por sí un problema considerable. Quizá esto explique que tantos investigadores de Inteligencia Artificial están fascinados con el problema de hacer que las máquinas "Vean". Porque nuestra manera de pensar depende mucho de lo que aprendemos a ver como semejante.*

¿Qué colores creamos que se parecen más? ¿Qué formas, qué olores y gustos, qué timbres y tonos, qué olores, qué sentimientos y sensaciones son semejantes? Estos

juicios tienen un gran efecto sobre todas las fases del crecimiento mental, pues lo que aprendemos depende de cómo clasificamos. Un niño que clasifica el fuego únicamente por el color de las llamas podría acalorarse asustándose de todo lo que tuviera color anaranjado. Entonces nos quejaríamos de que el niño ha "Generalizado" demasiado. Pero si el niño clasificara cada llama por rasgos diminutos que nunca se repiten se quejaríamos muy a menudo y nos quejaríamos de que no ha generalizado lo suficiente. Este problema de la similitud es tan importante que como verá el lector, los problemas de reconocimiento y la clasificación visuales, se han convertido en todo un campo de investigación. En la vida cotidiana damos por sentada nuestra capacidad de reconocer las cosas y nunca somos conscientes de lo realmente complicado que es el acto de "Ver".

¿ No es la visión un simple accesorio "Pariférico" ? Al fin y al cabo los ciegos pueden ser tan inteligentes como quienes podemos ver. Sin embargo, hay buenos motivos para centrarse en la visión dentro de la Inteligencia Artificial. Un motivo obvio es que la visión será muy útil para los robots. No sólo porque cuanto mejor "Vea" un robot más fácil le será hacer las cosas. La visión será útil también porque nos permitirá mostrar, es decir, enseñar a nuestros robots lo que deben hacer. Esto es importante; quien haya tratado con ordenadores sabe lo difícil que es "Decirles" cosas. Será mucho más fácil en el futuro cuando podamos hacer demostraciones con ejemplos. (Si lo pensamos bien, lo mismo es válido en nuestro propio caso).

Pero dejando de lado los aspectos prácticos, las investigaciones sobre la visión han resultado importantes en las investigaciones más básicas sobre las teorías de la inteligencia. Quizá nuestra capacidad general para pensar tan bien haya evolucionado a partir de la capacidad de nuestros antepasados para ver tan bien. Esto plantea la posibilidad de otro enfoque en la creación de máquinas inteligentes: Copiar la psicología humana. Éste es el enfoque favorito de muchos científicos. El único problema, como ya se ha mencionado, es que todavía no sabemos muchas cosas sobre psicología. Sin embargo, puesto que somos los únicos seres pensantes que llevan a cabo las cosas inteligentes que esperamos que hagan nuestros ordenadores, vale la pena que nos pongamos como ejemplo. Ahora, desde el punto de vista médico, usaremos la tecnología molecular para conseguir salud porque el cuerpo humano está hecho de moléculas. Los enfermos, los viejos y los heridos, todos sufren de patrones desajustados de átomos, ya sea que hayan sido desajustados por virus invasores, el transcurrir del tiempo ó autos con movimientos bruscos. Mecanismos capaces de reordenar átomos estarán disponibles para corregir esta situación. La Nanotecnología producirá avances fundamentales en medicina.

En la actualidad, los médicos se apoyan, principalmente, en la cirugía y los fármacos para tratar enfermedades. Los cirujanos han avanzado de coser heridas y amputar miembros, a reparar corazones y reimplantar miembros. Usando microscópios y herramientas de precisión, unen delicados vasos sanguíneos y nervios. Pero ni siquiera el mejor microcirujano puede cortar y coser las estructuras tisulares más finas. Los escalpelos y suturas modernos son, simplemente, demasiado toscos para reparar capilares, células y moléculas. Considérese una cirugía " Delicada " desde la perspectiva de las células: Una hoja inmensa cae, cortando ciegamente la maquinaria molecular de una multitud de células matando a miles. Más tarde, un gran obelisco atraviesa la multitud dividida, arrastrando un cable tan grueso como un tren de carga, para volverla a juntar. Desde la perspectiva de las células, aún la cirugía más delicada, realizada con exquisitos cuchillos y gran habilidad, es todavía un trabajo de carnicero. Sólo la capacidad de las células para abandonar sus muertos, reagruparse y multiplicarse hace posible la curación. Pero, como saben demasiado bien muchas víctimas de accidentes que quedan paráliticas; no todos los tejidos se curan.

Las terapias mediante fármacos, a diferencia de la cirugía, tratan con las estructuras más finas de las células. Las moléculas de los fármacos son simples mecanismos moleculares. Muchos afectan moléculas específicas de las células. Las moléculas de morfina; por ejemplo, se ligan a ciertas moléculas receptoras en las células cerebrales, afectando los impulsos neuronales que señalan el dolor. La insulina, los betabloqueantes y otros fármacos se ligan a otros receptores. Pero las moléculas de los medicamentos trabajan sin una dirección definida. Una vez arrojadas dentro del cuerpo, tropiezan y chocan con otras moléculas de una forma aleatoria hasta que lo hacen contra una molécula blanco, se adhieren a ella y afectan así su función.

Los cirujanos pueden ver problemas y planificar acciones, pero manejan herramientas toscas; las moléculas de los fármacos afectan los tejidos en el nivel molecular, pero son demasiado simples como para sentir, planificar y actuar. Pero las máquinas moleculares, dirigidas por nano-ordenadores, ofrecerán a los médicos una nueva alternativa. Combinarán sensores, programas y herramientas moleculares, formando sistemas capaces de examinar y reparar los componentes últimos de las células individuales. Llevarán el control quirúrgico al dominio molecular.

Estos mecanismos moleculares avanzados tardarán años en llegar; pero los investigadores, motivados por las necesidades médicas, ya estudian las máquinas y la Ingeniería Molecular. Los mejores fármacos afectan las máquinas moleculares de modos específicos. La penicilina por ejemplo, mata ciertas bacterias trabajando la nanomaquinaria que usan para construir sus paredes celulares, pero tienen poco efecto sobre las células humanas.

Los Bioquímicos estudian las máquinas moleculares para aprender cómo construir las y cómo destruir las. En todo el mundo, (y especialmente en el llamado "Tercer Mundo"), una desagradable variedad de virus, bacterias, protozoos, hongos y gusanos parasitan la carne humana. Como la penicilina; los fármacos seguros y efectivos para estas enfermedades trabajarán la maquinaria molecular del parásito, pero dejarían intacta la maquinaria molecular humana. El doctor Seymour Cohen, profesor de ciencia farmacológica en SUNY (Stony Brook, Nueva York), argumenta que los Bioquímicos deberían estudiar sistemáticamente la maquinaria molecular de estos parásitos. Una vez que los Bioquímicos hayan determinado la forma y función de una máquina proteica vital, entonces podrán diseñar una molécula para bloquearla, y así destruir al parásito. Estos fármacos podrían liberar a la humanidad de antiguos horrores, tal como la esquistosomiasis y la lepra; y de otros nuevos como el SIDA.

Las necesidades médicas harán adelantar este trabajo, de real investigación, estimulando a los científicos a dar nuevos pasos hacia el diseño de proteínas y la Ingeniería Molecular. Las presiones médicas, militares y económicas, todas empujan en la misma dirección. Aún antes del surgimiento de los ensambladores, la tecnología molecular traerá aparejados avances impresionantes en medicina; las tendencias en Biotecnología así lo garantizan.

Sin embargo, estos avances serán por lo general, graduales y difíciles de predecir; cada uno explotará algún detalle de la Bioquímica. Más tarde, cuando apliquemos ensambladores y sistemas de Inteligencia Artificial Técnica a la medicina, obtendremos capacidades más amplias que son fáciles de prever. Para comprender estas posibilidades, considérense las células y sus mecanismos de autorreparación. En las células del cuerpo, la radiación natural y las sustancias químicas nocivas dividen las

moléculas produciendo fragmentos moleculares reactivos. Estos pueden enlazarse erróneamente con otras moléculas, en un proceso llamado "Entrecruzamiento".

Si las células no pudieran repararse a sí mismas, el daño rápidamente las mataría ó haría que funcionasen mal, al alterar sus sistemas de control. Pero la evolución ha favorecido organismos con maquinaria capaz de hacer algo con este problema. El sistema fabril autorreplicador se repara así mismo, reemplazando las partes dañadas; las células hacen lo mismo. Siempre que el ADN de una célula se mantenga intacto, podrá hacer cintas libres de errores, que dirijan a los Ribosomas para ensamblar nuevas máquinas de proteína.

Desafortunadamente para nosotros los humanos, el propio ADN se daña, dando lugar a mutaciones. Los enzimas de reparación compensan un tanto, al detectar y reparar ciertos tipos de alteraciones del ADN. Estas reparaciones ayudan a las células a sobrevivir, pero los mecanismos de reparación existentes son demasiado simples como para corregir todos los problemas, ya sea en el ADN ó bien en cualquier otro lugar. Los errores se acumulan, contribuyendo al envejecimiento y muerte de las células, y las personas.

Las células obedecen las mismas leyes naturales que rigen el resto del mundo. Las máquinas de proteína, en el entorno molecular apropiado, funcionarán tanto si están en una célula funcional como si el resto de la célula ha sido destruido algunos días antes. Las máquinas moleculares no saben nada de "Vida" y "Muerte".

Los Biólogos - cuando les interesa - definen a veces la vida como la capacidad de crecer, reproducirse y responder a los estímulos. Pero, según este criterio, un sistema de fábricas replicantes podría calificarse como vivientes, mientras que una Inteligencia Artificial consciente, modelizada sobre el cerebro humano, podría no serlo. La interrogante es los virus están vivos ó son "Meramente" máquinas moleculares extravagantes. Ningún experimento podrá responder a esta pregunta, porque la naturaleza no traza ninguna línea divisoria entre los vivientes y los no vivientes. Los Biólogos que trabajan con virus hacen, en cambio, una pregunta acerca de su viabilidad: Funcionará este virus si se le da la oportunidad. Los rótulos de "Vida" y "Muerte" en la medicina dependen de las posibilidades médicas: Los médicos preguntan: Funcionará este paciente, si hacemos lo más que podemos. En una época los médicos declaraban muertos a sus pacientes cuando el corazón se detenía; ahora, declaran muerto a un paciente cuando abandonan la esperanza de restaurar la actividad cerebral. Los avances de la medicina cardíaca cambiaron una vez la definición; los avances en la medicina cerebral la cambiarán nuevamente.

Así como algunas personas se sienten incómodas con la idea de máquinas que piensan, algunos se sienten incómodos con la idea de que sean las máquinas las que subyacen a nuestro propio pensamiento. La palabra "Máquina", nuevamente, parece conjurar una imagen equivocada, una imagen de metal tosco y rechinante, en lugar de señales transmitidas a través de una malla cambiante de fibras neuronales, a través de un tapiz viviente más intrincado de lo que la mente que corporiza puede llegar a comprender. Las máquinas verdaderamente mecanicistas del cerebro son de tamaño molecular, más pequeñas que las fibras más delgadas.

El todo no necesariamente debe ser similar a sus partes. Un bulto sólido se parece poco a una fuente de agua, pero una colección de moléculas abultadas y sólidas forman agua fluida. De un modo similar, miles de millones de máquinas moleculares

forman fibras y sinapsis moleculares, miles de fibras y sinapsis forman una neurona, miles de millones de neuronas forman un cerebro, y el propio cerebro corporiza la fluidez del pensamiento. Decir que la mente es "Sólo Máquinas Moleculares" es como decir que la Mona Lisa es "sólo trazos de pintura". Semejantes aseveraciones confunden las partes con el todo y confunden la materia con el patrón que corporiza. No somos menos humanos por estar hechos de moléculas.

Los aplicaciones médicas más simples de las Nanomáquinas involucrarán no la reparación, sino la destrucción selectiva. Los cánceres proveen un ejemplo; las enfermedades infecciosas, otro. La meta es simple: Sólo se necesita reconocer y destruir los replicadores peligrosos, sean bacterias, células cancerosas, virus o gusanos. De modo similar, los crecimientos anormales y los depósitos en paredes arteriales causan muchas enfermedades del corazón; las máquinas que reconocen, descomponen y disponen de ellos, limpiarán las arterias y permitirán un flujo sanguíneo más normal. La destrucción selectiva también curará enfermedades como el herpes, en la que un virus empalma sus genes con el ADN de la célula anfitriona. Un mecanismo de reparación entrará en la célula, leerá su ADN y eliminará el agregado que lee como "herpes".

Reparar moléculas dañadas por entrecruzamiento también será bastante simple. Una máquina de reparación celular primero la identificará examinando secuencias cortas de Aminoácidos y luego buscará su estructura correcta en una base de datos. La máquina compara entonces la proteína con este modelo, un Aminoácido por vez. Como un corrector buscando errores ortográficos y caracteres extraños, encontrará cualquier Aminoácido cambiado o entrecruzado impropio. Corrigiendo estas fallas, obtendrá una proteína normal, lista para hacer el trabajo de la célula.

Las máquinas de reparación también ayudarán en la curación. Después de un ataque al corazón, el tejido cicatrizado reemplaza al músculo muerto. Las máquinas de reparación estimularán al corazón para que haga crecer músculo nuevo mediante el reajuste de los mecanismos de control celular. Al eliminar el tejido cicatrizado y dirigir un nuevo crecimiento, estarán dirigiendo la curación del corazón.

Esta lista podría continuar, enumerando un problema tras otro (por ejemplo, envenenamiento con metales pesados. Encontrar y eliminar los átomos de metal), pero la conclusión es fácil de resumir. Los desórdenes físicos surgen de átomos mal ordenados; las máquinas de reparación podrán ponerlos de nuevo en su sitio, devolviéndole al cuerpo su salud. En lugar de compilar una lista sin fin de enfermedades curables (desde la artritis, bursitis, cáncer y dengue hasta la fiebre amarilla, la fiebre del zinc, etc.); tiene sentido buscar los límites de lo que las máquinas de reparación celular pueden hacer. Los límites existen.

Considérese la apoplejía, como ejemplo de un problema que daña al cerebro. La prevención sería simple: ¿Un vaso sanguíneo en el cerebro está debilitándose, está prolijerante y pronto a estallar? Entonces, póngaselo de nuevo en forma y gúlese el crecimiento de fibras de refuerzo. ¿Un coágulo anormal amenaza con bloquear la circulación? Entonces, disuélvase los coágulos y normalícese la sangre y el revestimiento interior del vaso sanguíneo, para impedir su recurrencia. Un daño neuronal moderado, como secuela de una apoplejía, también será reparable: Si la circulación reducida ha dificultado la función pero ha dejado estructuras celulares intactas, entonces restáurese la circulación y repárense las células, usando sus estructuras como guía en la restauración del tejido a su estado previo. Esto no sólo restaurará la función de cada

célula, sino también preservará los recuerdos y habilidades incorporados en los patrones neuronales de esa parte del cerebro. Las máquinas de reparación podrán regenerar el tejido cerebral aún cuando el daño haya borrado estos patrones. Pero el paciente perdería viejos recuerdos y habilidades en la medida en que residiesen en esa parte del cerebro. Si patrones neuronales únicos son verdaderamente eliminados, entonces las máquinas de reparación celular no podrán hacer más que restaurarlas que lo que los restauradores artísticos podrían hacer con un lápiz a partir de ceniza revuelta. La pérdida de información por la eliminación de estructura impone el límite más importante y fundamental en la reparación de tejidos.

Otras tareas están más allá de las máquinas de reparación celular por diferentes razones: Mantener la salud mental, por ejemplo. Las máquinas de reparación celular podrán corregir algunos problemas, por supuesto. El pensamiento perturbado tiene, a veces, causas bioquímicas, como si el cerebro estuviera drogándose o envenenándose a sí mismo; otros problemas surgen de tejidos dañados. Pero muchos problemas tienen poco que ver con la salud de las neuronas y todo que ver con la salud de la mente.

Una mente y su tejido son como una novela y el papel del libro que la sustenta. Tinta derramada o daño por inundación pueden dañar el libro, haciendo que la novela sea difícil de leer. Las máquinas de reparación de libros podrían, de todos modos, restaurar la "Salud" física eliminando la tinta extraña o secando y reparando las fibras de papel dañadas. Estos tratamientos no harían nada por el contenido del libro; sin embargo, el cual en un sentido real, es no físico.

Si el libro fuese un romance barato con una trama insulsa y personajes huecos, se necesitarían reparaciones, pero no sobre la tinta y el papel, sino sobre la novela. Esto requeriría no reparaciones físicas, sino mucho más trabajo por parte del autor y quizás asesoramiento. De modo similar la eliminación de venenos del cerebro y la reparación de sus fibras nerviosas pueden atenuar algunas nieblas mentales, pero no revisarán el contenido de la mente. Este puede ser cambiado por el paciente, con esfuerzo; todos somos autores de nuestras mentes. Pero, como las mentes se cambian a sí mismas cambiando sus cerebros, tener un cerebro saludable ayudará a un pensamiento correcto más de lo que el papel de calidad ayuda a una escritura correcta.

Dentro del terreno de la cirugía, las personas han soñado durante mucho tiempo con descubrir una droga que interfiera con el metabolismo de todo el cuerpo, una droga capaz de interrumpir completamente el metabolismo por horas, días o años. El resultado sería una condición de "Biostasis" (de bio, que significa vida, y stasis, que significa paro o estado estable). Un método para producir una Biostasis reversible podría ayudar a los astronautas en largos viajes espaciales, para ahorrar alimento y evitar el aburrimiento o podría servir como una especie de viaje en el tiempo en un sólo sentido. En medicina, la Biostasis podría proveer anestesia profunda que daría a los médicos más tiempo para trabajar. Cuando las emergencias ocurran lejos de la ayuda médica, un buen procedimiento de Biostasis proveería una especie de tratamiento universal de primeros auxilios; estabilizaría la condición del paciente e impediría que las máquinas moleculares funcionasen enloquecidamente y dañasen los tejidos.

Pero nadie ha descubierto una droga capaz de detener todo el metabolismo, al modo en que los anestésicos detienen la conciencia; esto es, de un modo que pueda ser revertido simplemente al eliminar la droga de los tejidos del paciente. Sin embargo, la Biostasis reversible será posible cuando las máquinas de reparación estén disponibles.

Esto requeriría no reparaciones físicas, sino mucho más trabajo por parte del autor y quizás asesoramiento. De modo similar la eliminación de venenos del cerebro y la reparación de sus fibras nerviosas pueden atenuar algunas neobias mentales, pero no revisarán el contenido de la mente. Este puede ser cambiado por el paciente, con esfuerzo; todos somos autores de nuestras mentes. Pero, como las mentes se cambian a sí mismas cambiando sus cerebros, tener un cerebro saludable ayudará a un pensamiento correcto más de lo que el papel de calidad ayuda a una escritura correcta.

Dentro del terreno de la cirugía, las personas han soñado durante mucho tiempo con descubrir una droga que interfiera con el metabolismo de todo el cuerpo, una droga capaz de interrumpir completamente el metabolismo por horas, días o años. El resultado sería una condición de "Biostasis" (de bio, que significa vida, y stasis, que significa paro o estado estable). Un método para producir una Biostasis reversible podría ayudar a los astronautas en largos viajes espaciales, para ahorrar alimento y evitar el aburrimiento o podría servir como una especie de viaje en el tiempo en un sólo sentido. En medicina, la Biostasis podría proveer anestesia profunda que daría a los médicos más tiempo para trabajar. Cuando las emergencias ocurran lejos de la ayuda médica, un buen procedimiento de Biostasis proveería una especie de tratamiento universal de primeros auxilios; estabilizaría la condición del paciente e impediría que las máquinas moleculares funcionasen enloquecidamente y dañasen los tejidos.

Pero nadie ha descubierto una droga capaz de detener todo el metabolismo, al modo en que los anestésicos detienen la conciencia; esto es, de un modo que pueda ser revertido simplemente al eliminar la droga de los tejidos del paciente. Sin embargo, la Biostasis reversible será posible cuando las máquinas de reparación estén disponibles.

Para ver cómo un enfoque así podría funcionar, imaginemos que el flujo sanguíneo transporta mecanismos moleculares simples a los tejidos y que éstos penetran en las células. Allí bloquean la maquinaria molecular del metabolismo (en el cerebro y en cualquier otro lado) y ligan las estructuras con entrecruzamientos estabilizantes.

Otros mecanismos moleculares entran después, desplazando el agua y rodeando sólidamente las moléculas de la célula. Estos pasos detienen el metabolismo y preservan las estructuras celulares. Como también se usarán máquinas de reparación celular para invertir este proceso, pueden ocurrir daños moleculares moderados que, sin embargo, no provocarán un daño duradero. Con el metabolismo detenido y las estructuras celulares mantenidas firmemente en su lugar, el paciente reposará tranquilamente, sin sueños y sin cambios, hasta que las máquinas de reparación restauren la vida activa.

Sin un paciente en esta condición fuese derivado a un médico en la actualidad, ignorante de las capacidades de las máquinas de reparación celular, las consecuencias probablemente serían nefastas. No viendo signos de vida, el médico concluiría que el paciente está muerto y luego haría de este juicio una realidad " Prescribiendo " una autopsia, seguida por entierro o cremación.

Pero nuestro paciente utópico e imaginario vive en una era en la que la Biostasis es conocida como solamente una interrupción de la vida, no su terminación. Cuando el contrato del paciente dice " ¡ Despiértenme ! " (ó las reparaciones ya están completas ó el vuelo estelar ha terminado), el médico comienza la resucitación.

Las máquinas de restauración entran en los tejidos del paciente, eliminando el empaquetamiento de las moléculas y reemplazándolo por agua. Luego eliminan los entrecruzamientos, reparan cualquier molécula y estructura dañada y restauran las concentraciones normales de sales, azúcar en la sangre, ATP, etc. Finalmente, desbloquean la maquinaria metabólica. Los procesos metabólicos interrumpidos recomienzan, el paciente bosteza, se estira, se sienta, da las gracias al doctor, mira la fecha y sale caminando por la puerta.

La reversibilidad de la Biostasis y la irreversibilidad del daño cerebral severo ayudan a mostrar cómo las máquinas de reparación celular transformarán la medicina. Hoy en día, los médicos sólo pueden esperar que los tejidos se curen a sí mismos. Por eso, deben tratar de preservar la función del tejido. Si los tejidos no pueden funcionar, no pueden curarse. Peor aún, a menos que sean preservados, seguirá el deterioro, destruyendo finalmente la estructura. Es como si las herramientas de un mecánico fueran capaces sólo de funcionar sobre un motor en marcha.

CAPITULO II

MICROPROCESADOR 80386

II.1.- Introducción.

¿Qué es un Microprocesador?, un Microprocesador (μP) es un circuito integrado que realiza las funciones de una computadora digital. Cuando los datos se traducen en un lenguaje que el Microprocesador puede entender, los resultados se conocen como palabras de datos. Estas palabras de datos por lo general se conocen simplemente como palabras. La medida real de la capacidad del Microprocesador es entonces la longitud de las palabras de datos con las cuales opera y el número de éstas que la memoria del Microprocesador puede almacenar. Para facilitar su manejo en el almacenamiento las palabras de datos contenidas en cualquier Microprocesador tienen todas la misma longitud. La longitud se mide por el número de bits que constituyen la palabra.

Un bit, es un dígito binario, las palabras comunes del Microprocesador constan de 4, 8, 16 ó 32 bits. La palabra de 8 bits fue la más común y se la llamó byte. Los circuitos del Microprocesador son binarios y por lo tanto sólo hay dos posibles posiciones ó condiciones en las cuales puede existir cualquier circuito de un Microprocesador. (ON = encendido, y OFF = apagado), cada bit puede estar en ON ó en OFF y se conocen como uno-lógico y cero-lógico. El número total de combinaciones posibles en una palabra binaria de longitud n es 2^n donde n es el número de bits que tiene la palabra. La capacidad del Microprocesador, es decir la longitud de su palabra característica, se refleja asimismo en su capacidad de memoria.

El Sistema Microprocesador consta de tres partes, éstas son: la CPU, la Memoria y la Entrada y Salida (I/O). Un Microprocesador siempre contiene la CPU. Los circuitos I/O son los dispositivos que permiten a la Microcomputadora comunicarse con el mundo exterior. En la actualidad este último tipo de Microprocesador se conoce como "Microcomputador en una Pastilla".

Así como el sistema de memoria debe recibir una dirección antes de que los datos puedan ser transferidos hacia ésta o desde ella, lo mismo debe hacer un dispositivo de I/O. Normalmente hay más de un dispositivo de entrada o salida en un sistema Microprocesador. La CPU debe decidir a qué dispositivo de I/O desea que se transfieran los datos o bien de cuál se deben recibir, indica a que dispositivo desea transferir los datos direccionándolo. Se explica el retro de palabras de instrucción de la memoria y la transferencia de palabras de datos hacia la memoria y a partir de éstas lo cual significa que no existe diferencia alguna entre palabras de datos y de instrucción, y que éstas pueden localizarse en cualquier dirección de la memoria. Cuando se ejecuta un programa

en particular, el programador debe reservar ciertas áreas de la memoria, para el almacenamiento del programa mientras que otras áreas se pueden reservar para el almacenamiento de datos. Estas tareas pueden variar para un programa distinto si el programador así lo desea. El único requisito es que las palabras de instrucción que constituyen el programa de la computadora deben ser almacenadas en la secuencia en que se vayan a utilizar.

La información de datos y direcciones se debe comunicar entre la CPU, la Memoria y los Dispositivos I/O.

En muchos Sistemas Microprocesadores esto se lleva a cabo en circuitos eléctricos que actúan como "viaductos" de datos y direcciones. Se pueden agregar otras conexiones de I/O (llamados Puertos) al ducto de la Microcomputadora de manera que el Sistema de Microcomputadora pueda comunicarse con otros dispositivos I/O tales como impresoras, terminales de video (VDT), Modems, etc.

Un Microprocesador es la CPU de una pequeña Computadora Digital llamada Microcomputadora. La diferencia entre las Microcomputadoras y las Minicomputadoras es por lo general, la estructura de la CPU, si la CPU es un Microprocesador a la computadora se le denomina Microcomputadora, pero si la Computadora digital se construye con varios Circuitos Integrados individuales es generalmente una Minicomputadora.

El Microprocesador 80386 es una versión completa de 32 Bits del Microprocesador 80286. Además de tener un tamaño más grande (doble palabra), contiene muchas mejoras y características adicionales. El Microprocesador 80386 cuenta con multitareas, administración de memoria, memoria virtual con ó sin paginación, protección de programación y un sistema de memoria grande. Toda la programación escrita para las versiones anteriores 8086/8088, 80186/80188 y el 80286 son compatibles; es decir, son "escalables", para el $\mu P80386$ se incrementa la posibilidad de direccionamiento a 4 GBytes en comparación con 1 MByte que se obtenía en el 8086/8088/80186/80188, y los 16 MBytes encontrados en el 80286. El $\mu P80386$ puede cambiar la operación entre modo real y protegido sin tener que reinicializar al Microprocesador.

El $\mu P80386DX$ representa un notable avance ya que su arquitectura de 32 bits le permite manejar simultáneamente el doble de datos que los procesadores de 16 bits. Los ordenadores basados en él, son mucho más potentes que los sistemas tipo IBM PC y sus derivados (basados en el 8088), que el AT&T 6300 y el IBM Personal System/2 Modelo 30 (basados en el 80286). A pesar de todo, los sistemas basados en el $\mu P80386$ pueden funcionar bajo MS-DOS y ejecutar aplicaciones diseñadas para sistemas anteriores. El $\mu P80386$ lleva la potencia de un superminiordenador (como los de la línea VAX de DEC) ó un Mainframe (como los de las líneas 360/370 de IBM) al nivel de un CI. Un ordenador basado en el $\mu P80386$ como el IBM Personal System/2 Modelo 80 puede ejecutar más tareas que la mayoría de los ordenadores de los años 70's que costaban miles e incluso millones de pesos. El $\mu P80386$ es algo más que un 8088 ó un 80286 expandido. Entre sus características clave se encuentran:

1.- Capacidad de direccionamiento de memoria de 4 Gigabytes:

Un Gigabyte son 1024 Mbytes, esto representa 256 veces la capacidad de direccionamiento de un $\mu P80286$ y 4096 veces la de un $\mu P8088$. Cuatro Gigabytes son

suficientes para almacenar la totalidad de la deuda externa de los Estados Unidos de América, aunque no son suficientes para recordarlo todo.

2- Capacidad para ejecutar programas diseñados para el $\mu P80386$ en sus propios entornos:

El $\mu P80386$ puede conmutar entre un modo de trabajo similar al de un $\mu P8086$ y su propio modo de trabajo. Un ordenador basado en el $\mu P80386$ puede por tanto, ejecutar los programas más populares diseñados para el MS-DOS, sin perder el acceder a las características más avanzadas. Esta es una gran mejora sobre el 80286, que no podía ejecutar programas MS-DOS en su modo nativo (modo protegido). Muchas de las características del $\mu P80286$, como el bus de direcciones de 16 bits, no se pueden acceder por lo usuarios de MS-DOS.

3- Capacidad para soportar sistemas que ejecutan varias tareas a la vez (denominados Multitasking):

Tanto el $\mu P80286$ como el $\mu P80386$ disponen de instrucciones especiales, estructuras de datos y otras características especialmente pensadas para esos sistemas. El Multitasking es importante en aplicaciones como Diseño Asistido por Computadora (CAD), Fabricación Asistida por Computadora (CAM), Ingeniería Asistida por Computadora (CAE), Robótica, Inteligencia Artificial, Control Industrial, Control de Procesos, Sistemas Militares y Aeroespaciales, en Instrumentación y en las Estaciones de Trabajo.

4- Posibilidad para direccionar unidades ó bloques de memoria de hasta 4 Gigabytes:

Estas unidades de datos ó programas direccionables independientemente se denominan Segmentos. En el $\mu P80386$, incluso los programas más grandes caben en un único segmento. Esto elimina la necesidad de realizar una programación extra y emplear más tiempo de máquina comprobando los límites de los segmentos y cambiando de un segmento a otro.

5- Soporte para Memoria Virtual:

Es decir, el $\mu P80386$ puede acceder a más memoria de la que realmente está presente. Ya que el Sistema Operativo puede mover los datos y los programas hacia ó desde el disco según lo necesite. El programador no tiene por qué gestionar la memoria física de los sistemas, que puede variar entre modelos de ordenador ó expandirse con el tiempo.

6- Arquitectura especial incluida en el Circuito Integrado para realizar operaciones de desplazamiento, multiplicación y división, así como generación de direcciones:

Esta nueva arquitectura permite una ejecución más rápida de las instrucciones. Por ejemplo, un dispositivo denominado " Barrel Shifter " (desplazador en bloque), permite desplazar hasta 64 bits en un único ciclo de reloj. Así todos los desplazamientos

emplean el mismo tiempo, con independencia del número de bits desplazados. Los desplazamientos largos son frecuentes en programas gráficos, comunicaciones, compilaciones, tratamiento imágenes y de cadenas. La ejecución simultánea del cálculo de direcciones es otra de las principales causas de las mejoras en las prestaciones del 80386. Incluso el modo de direccionamiento más complejo emplea ahora sólo un ciclo de reloj, frente a los doce ciclos utilizados en los modelos anteriores.

El $\mu P80386$ dispone de otras nuevas características como son: Dispone de registros de depuración que pueden emplearse en la depuración de programas. También dispone de instrucciones para manipular bits, comprobar límites de memoria y gestionar módulos. Esta arquitectura mejorada y las facilidades que aportan las instrucciones aceleran notablemente las operaciones aritméticas, los desplazamientos y los direccionamientos. Externamente, el $\mu P80386$ dispone de una nueva unidad de punto flotante de 32 Bits más potente, y el coprocesador aritmético 80387. También dispone de una arquitectura más generalizada que la de sus predecesores. Una crítica frecuente al 8086 y al 80286 ataca la idea de dedicar muchos de sus registros a propósitos especiales tales como acumuladores, índices y segmentos base. El $\mu P80386$ permite al usuario ignorar una gran parte de esta especificidad, aunque puede hacer uso de sus ventajas si so requiere.

II.2.- Arquitectura del $\mu P80386$.

Para entender el funcionamiento de apilamiento (Pipeline) del $\mu P80386$, es necesario entender su teoría de operación sobre el concepto de que todas las unidades que lo integran, funcionan simultáneamente. Además, se le denomina "pipeline" a esta arquitectura en función de lo que sería una tubería en la que el fluido se mueve de forma continua, en lugar de unidades discretas. Las unidades de este procesador son:

1.- *La Unidad de Interfase de Bus.*- La cual lee las instrucciones de la memoria en un proceso denominado "fetch", y transfiere los datos desde/hacia la memoria y los dispositivos de Entrada/Salida. Es por tanto, el gestor del tráfico externo del procesador.

2.- *La Unidad de Precarga (Prefetch) y la Unidad de Decodificación.*- Las cuales toman las instrucciones y determinan su significado (en un proceso denominado decodificación). Ambas unidades disponen de lugares de almacenamiento (denominados colas) que albergan las instrucciones en el orden adecuado hasta que la próxima unidad las necesite. La unidad de precarga dispone de una cola de 16 bytes y la unidad de decodificación de una cola de tres instrucciones.

3.- *La Unidad de Ejecución.*- Realiza las operaciones especificadas por las instrucciones. Ejecuta funciones aritméticas, lógicas, de desplazamiento y de algún otro tipo. También gestiona las áreas de almacenamiento interno del Circuito Integrado(registros).

4.- *La Unidad de Manejo de Memoria.*- La cual incluye las unidades de segmentación y paginación, las cuales trabajan conjuntamente para traducir las

direcciones de memoria a las que se refiere el programa (denominadas direcciones lógicas) a direcciones físicas reales.

A su máxima potencia, el $\mu P80386$ trabaja sobre varias instrucciones a la vez. Así no necesita esperar a terminar una parte de una operación antes de iniciar la siguiente. Por supuesto, se emplea algo de tiempo en cargar el arreglo de apilamiento " pipeline " por primera vez.

Un procesador en " pipeline " necesita de técnicas especiales de programación para alcanzar sus prestaciones óptimas. Se producen retrasos siempre que hay que llenar el "pipeline". Dentro de las aplicaciones que tiene este procesador junto con su arquitectura son:

- 1.- Ordenadores personales.
- 2.- Sistemas CAD/CAM/CAE, que corresponde al Diseño/Fabricación/Ingeniería asistida por computador.
- 3.- Robótica.
- 4.- Inteligencia Artificial.
- 5.- Tratamiento de Señales.

Ahora, para apreciar el $\mu P80386$ en su justa medida deben entenderse los siguientes conceptos:

- 1.- Memoria virtual.
- 2.- Multitarea.
- 3.- Sistema multiusuario.
- 4.- Lenguajes de alto nivel y máquinas orientadas al Sistema Operativo.

Aunque estas ideas son nuevas en el entorno de los μP 's y los ordenadores personales; los "mainframes", los miniordenadores y los ordenadores especializados las han venido utilizando durante muchos años. Muchas de las características del $\mu P80386$ se derivan claramente de otras máquinas.

II.3.- Características del $\mu P80386$.

Las innovaciones que presenta la arquitectura del $\mu P80386$ son:

- 1.- Buses de direcciones y datos de 32 Bits con manejo automático de transferencias de bytes y palabras incluso no alineadas. Intel denomina a esto Dimensionamiento Dinámico del Bus de Datos.

2.- " Pipeline " de las direcciones que permite el solapamiento de los sucesivos ciclos para acceder a la memoria. Esto da un tiempo extra sin reducir la capacidad global del sistema.

3 - Posibilidad de utilizar un bus de datos de 32 ó de 16 bits.

4.- Soporte de Coprocesador Matemático de 32 Bits, el 80387.

La alta velocidad de reloj (16 MHz ó más), a la que trabaja este procesador implica el uso de memorias rápidas para funcionar sin ciclos de espera. Sin embargo, la gran cantidad de memoria requerida en aplicaciones informáticas haría los sistemas de este tipo excesivamente caros. Algunas formas de reducir los costos sin sacrificar las prestaciones son:

a).- Ciclos de bus solapados de forma que la siguiente forma para acceder a memoria ó a dispositivos de Entrada/Salida pueda empezar antes de que el actual acabe.

b).- División de la memoria en bancos de forma que para acceder a direcciones consecutivas puedan hacerse sin retardos.

c).- Almacenar instrucciones y datos muy frecuentemente usados en una pequeña área de memoria de alta velocidad (llamada Memoria Caché). La Memoria Caché tiene una relación con la memoria principal similar a la de la memoria principal con el almacenamiento en disco. Estas tres técnicas ya han sido utilizadas en el diseño de los grandes ordenadores.

II.4.- Sistema con Acopladores.

El $\mu P80386$ conectado a acopladores que incrementan la capacidad de corriente de salida de sus conexiones de direcciones, datos y control. Este $\mu P80386$ se opera a 25 MHz utilizando una señal de entrada de reloj de 50 MHz que genera un módulo oscilador integrado. Los módulos osciladores casi siempre se utilizan para proporcionar el reloj en equipos modernos que utilizan procesadores. La señal llamada HOLD (retención) se conecta a la entrada de control de habilitación de los acopladores en un sistema que utiliza el acceder de forma directo a la memoria. De lo contrario, las terminales de habilitación de los acopladores se conectan a tierra en un sistema sin DMA (Direct Memory Access).

Otra consideración es el Paralelismo Entrelazado y los Caché's. La memoria caché (como ya se ha mencionado), permite al $\mu P80386$ funcionar más eficientemente con velocidades menores de DRAM (Dynamic Random Access Memory). El llamado paralelismo es una forma especial de manejar el acceder a la memoria, para tener un tiempo adicional para direccionar los datos. Un $\mu P80386$ a 16 MHz permite que dispositivos de memoria con tiempos para acceder en 50 nseg. ó menos que operen a toda velocidad. Como es obvio, en la actualidad no hay dispositivos DRAM disponibles con estos tiempos para acceder a ellos. De hecho, las DRAM más rápidas actualmente en producción tienen tiempo para acceder en 55 nseg. ó más.

Esto significa que se debe encontrar alguna técnica para conectar estos dispositivos de memoria más lentos que el μP . Están disponibles tres técnicas; Memoria entrelazada, caché y paralelismo. El $\mu P80386$ de 16 MHz opera utilizando DRAM de 100 Nseg. en un sistema que utiliza memoria entrelazada.

El paralelismo es la forma preferida para la interfase de memoria, porque el μP soporta este tipo de acceder a la memoria. El paralelismo en el $\mu P80386$ le permite a la memoria un período extra del reloj para direccionar los datos. El período adicional extiende el tiempo para acceder de 50 nseg. a 81 nseg. en un $\mu P80386$ operando con un reloj de 16 MHz. La arquitectura paralela del μP , cuando se recupera una instrucción de la memoria, proporciona un tiempo adicional, antes que se requiera la siguiente instrucción se envía un aviso a través del canal de direcciones.

Este tiempo extra (un período de reloj) se utiliza para proporcionar un tiempo adicional para acceder a los componentes de memoria más lentos. La memoria de memoria caché funciona entonces de la siguiente manera: Cada vez que el μP accede a la memoria, el sistema caché primero se prueba para ver si los datos están en él. Si los datos se encuentran dentro del caché, se tiene un acierto del sistema caché. Si ocurre una falla, los datos se leen del DRAM, se almacenan en el caché y de ahí los lee el μP . Esto por supuesto requiere de estados de espera para hacer que la velocidad del μP iguale a la más lenta de la memoria DRAM.

Al escribir datos a la memoria, también se escriben al caché. Aunque esto causa normalmente estados de espera para la DRAM, si los datos se leen posteriormente, ya se encuentran en el caché lo cual significa una operación de estado de espera de cero en lecturas subsecuentes de los mismos datos. Este método de escribir se llama una operación de escritura a través del caché.

11.5.- Interrupciones en el $\mu P80386$.

Las interrupciones alteran el flujo normal del programa con el objetivo de atender sucesos externos, errores ó condiciones excepcionales. Son ocasionados por un suceso asíncrono externo, que pasa a nivel activo las correspondientes líneas de petición de interrupción del $\mu P80386$. Se clasifican en dos grupos: Enmascarables y no enmascarables.

El servicio a la solicitud de interrupción se conoce una vez finalizada la ejecución de la instrucción en curso. Al finalizar la rutina de interrupción se coloca la instrucción de retorno, para que, con la colaboración de la memoria, se regrese a la siguiente instrucción a la que se ejecutó antes de la interrupción. El $\mu P80386$ soporta hasta 256 interrupciones distintas. Para su manejo se define una tabla con 256 vectores de interrupción, que son simples punteros que señalan el inicio de la rutina de servicio correspondiente. Las interrupciones enmascarables son el medio más utilizado por el $\mu P80386$ para atender los sucesos asíncronos externos. Este tipo de interrupción se realiza al pasar a nivel alto la línea INTERRUPT. Activada la interrupción, el μP lee durante un ciclo de reconocimiento de interrupción, el vector de 8 bits proporcionado por la circuitería externa al bus de datos

(D0 - D7), con el cual se accede a la tabla y se identifica el origen de la rutina que atiende a dicha interrupción.

La interrupción no enmascarable, proporciona un sencillo método de atención a interrupciones, con un grado máximo de prioridad. Cuando la línea de entrada NMI del $\mu P80386$ pasa a nivel alto, se produce una interrupción de tipo 2, y al contrario de las interrupciones enmascarables, no se produce un ciclo de reconocimiento de interrupción. Mientras se atiende el servicio de NMI, el μP no atiende peticiones de cualquier interrupción, hasta que se complete la instrucción de retorno denominada IRET ó se produce una señal de condiciones iniciales a cero.

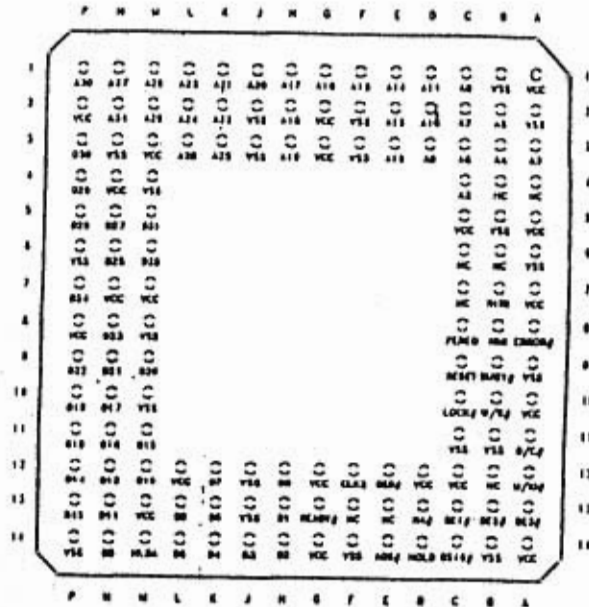


Fig. II.1.- Distribución de las 132 terminales del $\mu P80386$, visto desde la parte superior de la cápsula

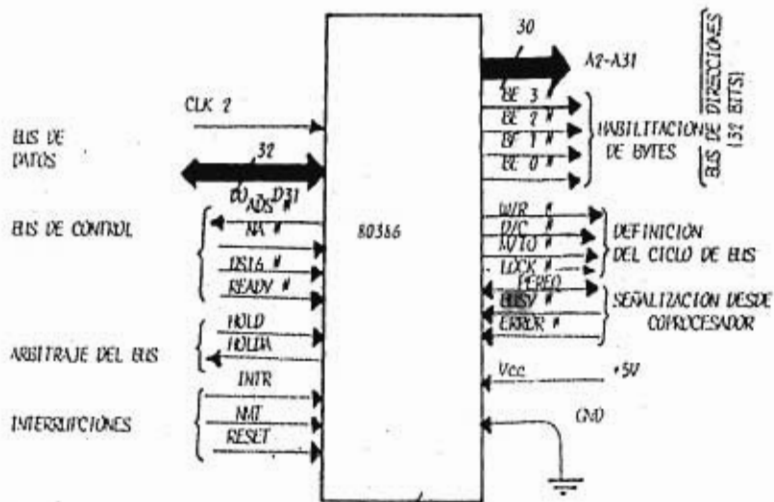


Fig. 11.2.- Señales de control y adaptación del Microprocesador 80386 agrupadas en funciones comunes.

1.- CLK2 (Señal de Reloj).- Por el terminal de entrada al $\mu P80386$, referenciada por CLK2, se introduce el control de tiempos necesario CLK2 se divide por 2, para generar la señal de reloj interna que controla el funcionamiento del μP en la ejecución de las instrucciones.

2.- D0-D31 (Bus de Datos).- Son 32 líneas que admiten el estado flotante y tienen carácter bidireccional. Una característica especial del bus de datos es que puede transferir información de 16 y de 32 Bits, usando como elemento de control la señal auxiliar de entrada BS16#.

3.- A2-A31 y BE0#-BE3# (Bus de direcciones).- Estas líneas de salida del $\mu P80386$ de tipo triestado, proporcionan la dirección física de una posición de memoria o de una Entrada/Salida. Con este tamaño de bus se pueden direccionar 4,000,000,000 de bytes (4 Gigabytes), comprendidos entre las direcciones físicas 0000 0000 y la FFFF FFFF. El bus de direcciones se encarga también de controlar 64 K Bytes dedicados a Entradas/Salidas y que ocupan las direcciones 0000 0000 hasta la 0000 FFFF.

Las cuatro señales auxiliares del bus de direcciones BE0#-BE3# de habilitación de byte, indica cuál de los cuatro bytes, que componen los 32 bits del bus de datos, se emplean en la transferencia en curso. Estas cuatro señales se obtienen por la combinación de las líneas del bus de direcciones A0 y A1 y el control de los bytes se efectúa de la siguiente forma:

BE0# controla el byte contenido en las líneas de datos D0-D7.
BE1# controla el byte contenido en las líneas de datos D8-D15.
BE2# controla el byte contenido en las líneas de datos D16-D23.
BE3# controla el byte contenido en las líneas de datos D24-D31.

Cuando se está realizando un ciclo de escritura y el operando se transfiere por las 16 líneas de más peso de bus de datos (D16-D31), dicha información se duplica en las 16 líneas de menos peso (D0-D15), para optimizar la escritura sobre buses de 16 líneas.

4.- Señales que definen el ciclo del bus.- Las señales triestado WR#, D/C#, M/I0# y LOCK# sirven para definir el ciclo de bus que se ejecuta.

WR#: Distingue entre los ciclos de escritura y los de lectura.
D/C#: Distingue entre los ciclos de datos y los de control.
M/I0#: Distingue entre los ciclos de memoria y los de Entrada/Salida.
LOCK#: Distingue entre los ciclos cerrados y abiertos.

5.- Señales de control del bus.- Las señales comprendidas en este grupo, indican el principio y el fin del ciclo del bus, el control de direccionamiento pipeline a otros sistemas a la anchura del bus de datos que se emplea.

ADS# (Estado de dirección).- Es una salida triestado que indica la validez de un ciclo de bus y la conducción de una dirección por las terminales adecuadas del $\mu P80386$ (A2-A31, BE0#-BE3#, WR# y M/I0#).

READY# (Reconocimiento de transferencia).- Esta señal de entrada al procesador indica la terminación del ciclo del bus y la aceptación de los bytes activos determinados por BE0#-BE3# y por BS16#.

NA# (Petición de la dirección siguiente).- Esta entrada señala que el sistema está preparado para recibir nuevos valores de BE0#-BE3#, A2-A31, WR#, D/C# y M/O# desde el $\mu P80386$, aunque el ciclo de bus actual aún no ha sido reconocido por READY#.

BS16# (Tamaño del bus).- Esta señal permite al $\mu P80386$ conectarse, de forma directa, con sistemas de buses de datos de 16 y 32 bits. La habilitación de esta señal restringe el ciclo de bus en curso, a utilizar sólo la mitad menos significativa del bus de datos (D0-D15), correspondientes a BE0# y BE1#.

6 - *Señales de arbitraje de bus.*-Este grupo de líneas sirven al procesador para abordar el control de los buses locales cuando se produce una petición por otro master.

HOLD (Petición del bus).- Esta señal de entrada al $\mu P80386$ indica que otro dispositivo solicita el dominio del sistema de buses.

La señal HOLD permanece activa durante todo el tiempo que se cede el bus. Mientras permanezca activa la señal RESET, no se conoce a HOLD.

HILDA (Reconocimiento de la cesión del bus).- La activación de esa línea de salida significa que el $\mu P80386$ ha cedido el control de su bus local, en respuesta a una petición de HOLD.

La aceptación de HOLD deja en estado de alta impedancia las siguientes terminales del procesador: D0-D31, A2-A31, BE0#-BE3#, WR#, D/C#, M/O#, LOCK# y ADS#.

7 - *Señales de adaptación desde coprocesador.*- Son tres terminales de entrada al $\mu P80386$ que se encargan de implantar la interfase con el coprocesador numérico 80287 y 80387.

PEREQ (Petición de coprocesador).- La activación de esta línea significa la petición del coprocesador para que sea transferido un dato a/desde la memoria por el μP .

BUSY# (Coprocesador ocupado).- La activación de esta señal, indica que el coprocesador está todavía ejecutando una instrucción y no puede aceptar otra nueva.

ERROR# (Error de coprocesador).- Esta señal de entrada, indica que la instrucción anterior del coprocesador, ha generado un tipo de error no enmascarable por el registro de control del coprocesador. Cuando el $\mu P80386$ encuentra una instrucción para el coprocesador, explora la línea ERROR#, y si está activa, genera la excepción del tipo 7, con objeto de acceder al sistema lógico de tratamiento de los errores.

8 - *Señales de interrupción.*- A continuación se presentan las tres señales características de este grupo y son:

1 - **INTR** (Petición de interrupción enmascarable).- La activación de esta línea de entrada del $\mu P80386$, representa una petición de interrupción, que puede enmascararse con el bit IF del Registro de Señalizadores.

Cuando el $\mu P80386$ responde a una petición INTR, realiza dos ciclos de reconocimiento y, al final del segundo, carga un vector de interrupción de 8 bits sobre D0-D7, que identifica el origen de la interrupción. La señal INTR es activa por nivel y asíncrona con la señal CLK2. Para que se asegure el reconocimiento de una interrupción INTR, ésta ha de permanecer activa hasta el inicio del primer ciclo de reconocimiento de interrupción.

2- *NMI (Interrupción no enmascarable)*.- Esta señal introduce al $\mu P80386$ una petición de servicio de interrupción, que no puede ser enmascarada con instrucciones en el programa. Siempre es atendida y la rutina a la que se accede, viene determinada por el puntero 2 de la Tabla de Interrupciones. Es cautiva por flanco ascendente y asíncrona con respecto a CLK2. Una vez iniciada la atención a una petición NMI, se ignoran otras peticiones NMI, hasta que no se ejecute la instrucción de retorno de interrupción IRET.

3- *RESET (Reinicialización)*.- Al activarse esta señal se suspende cualquier operación en curso y se realiza una rutina que deja al $\mu P80386$ en un estado conocido. Para que el μP acepte la señal de RESET, esta señal ha de permanecer activa durante 15 ó más periodos de CLK2. Cuando es aceptada la señal de RESET, se ignoran las restantes señales de entrada y se pasa a un estado de inactividad, en el que las señales del $\mu P80386$ toman los siguientes estados:

| | |
|-------------|-----------------|
| - ADS# | Alto |
| - D0-D31 | Alta impedancia |
| - BE0#-BE3# | Bajo |
| - A2-A31 | Alto |
| - WR# | Alto |
| - D/C# | Alto |
| - M/I-O# | Bajo |
| - LOCK# | Alto |
| - HLDA | Bajo |

II.7.- Repertorio De Instrucciones Del $\mu P80386$.

Las instrucciones del $\mu P80386$ soportan 0, 1, ó 3 operandos, que pueden residir: En un registro, en la memoria, ó en la propia instrucción. La mayoría de las instrucciones que carecen de operando ocupan un byte y las de un operando, generalmente, 2 bytes. El uso de dos operandos permite actuar sobre los siguientes elementos:

- Registro a registro.
- Memoria a registro.
- Inmediato a registro.
- Memoria a memoria.
- Registro a memoria.
- Inmediato a memoria.

Los operandos pueden constar de 8, 16 ó 32 bits. El repertorio de instrucciones del $\mu P80386$ se clasifica en 9 grupos, según el tipo de operación que realizan:

- 1.- De transferencia de datos.
- 2.- Aritméticas.
- 3.- De desplazamiento y rotación.
- 4.- De manipulación de cadenas.
- 5.- De manipulación de bits.
- 6.- De transferencia de control.
- 7.- De soporte a los lenguajes de alto nivel.
- 8.- De soporte a sistemas operativos.
- 9.- De control del μP .

1.- Instrucciones Para La Transferencia de Datos:

a). De propósito General.

MOV: Mover operando.
 PUSH: Cargar operando en la Pila.
 POP: Sacar operando de la Pila.
 PUSHA: Cargar el contenido de todos los registros en la Pila.
 POPA: Sacar todos los registros de la Pila.
 XCHG: Intercambio de operandos.
 XLAT: De traducción.

b). De Conversión.

MOVZX: Mover byte, palabra ó doble palabra con extensión de ceros.
 MOVSX: Mover byte, palabra ó doble palabra con extensión de signo.
 CBW: Convertir byte a palabra ó palabra a doble palabra.
 CDW: Convertir palabra a doble palabra.
 CDQE: Convertir palabra a doble palabra extendida.
 CQDQ: Convertir doble palabra a palabra cuádruple.

c). De Entrada y Salida.

IN: Entrada de un operando desde el espacio de Entrada/Salida.
 OUT: Salida de un operando al espacio de Entrada/Salida.

d). De Aclucación Sobre Dirección.

LEA: Cargar la dirección efectiva.
 LSD: Cargar puntero en el registro D.
 LES: Cargar puntero en el registro E.
 LFS: Cargar puntero en el registro F.
 LGS: Cargar puntero en el registro G.
 LSS: Cargar puntero en el registro S.

e). De Manipulación de Señalizadores.

LAHF: Carga en el registro A los señalizadores (flags).
 SAHF: Almacena el registro A en el registro de señalizadores.
 PUSHF: Carga el registro de señalizadores en la Pila.
 POPF: Saca el registro de señalizadores de la Pila.

PUSHFD: Carga el registro EFLAGS en la Pila.
POPFD: Saca el registro de señalizadores de la Pila.
CLC: Borra el señalizador de Acarreo.
CFL: Borra el señalizador de Dirección.
CMC: Complementa el Acarreo.
STC: Pone a "1" lógico el Acarreo.
STD: Pone a "1" lógico el señalizador de Dirección.

2.- Instrucciones Aritméticas:

a). Suma.

ADD: Suma operandos.
ADC: Suma con acarreo.
INC: Incrementa el operando una unidad.
AAA: Ajuste ASCII para la suma (no empaquetado).
DAA: Ajuste decimal para la suma (empaquetado).

b). Resta.

SUB: Resta operandos.
SBB: Resta con llevada.
DEC: Decrementa una unidad el operando.
NEG: Niega el operando.
CMP: Compara operandos.
AAS: Ajuste ASCII para la resta.

c). Multiplicación.

MUL: Multiplica con simple ó doble precisión.
IMUL: Multiplica enteros.
AAM: Ajuste ASCII para después de la multiplicación.

d). División.

DIV: Divide números sin signo.
IDIV: Divide números enteros con signo.
AAD: Ajuste ASCII para después de la división.

3.- Instrucciones Para el Manejo de Cadenas:

MOVS: Mueve una cadena (string) de bytes, palabras ó dobles palabras.
INS: Entrada de una cadena desde el espacio de Entrada/Salida.
OUTS: Salida de una cadena al espacio de Entrada/Salida.
CMPS: Compara bytes, palabras ó dobles palabras de una cadena.
SCAS: Busca Bytes, palabras ó dobles palabras de una cadena.
LODS: Carga una cadena de bytes, palabras ó dobles palabras.
STOS: Almacena una cadena de bytes, palabras ó dobles palabras.
REP: Repite una operación sobre una cadena, el valor de C.
REPE/REPZ. Repite según C, mientras sea igual a cero.

RENE/RETNZ. Repite según C, mientras no sea igual ó no sea cero, a semejanza con la instrucción del µP8086 que tiene igual nemónico.

4.- Instrucciones Lógicas:

a). Booleanas.

NOT: Operación lógica de inversión.
AND: Operación AND.
OR: Operación OR.
XOR: Operación OR Exclusiva.
TEST: Operación AND sin resultado. Sólo afecta los señalizadores.

b). De Desplazamiento.

SHL/SHR: Desplazamiento lógico a la izquierda ó a la derecha.
SAL/SAR: Desplazamiento aritmético a la izquierda ó a la derecha.
SHLD/SHRD: Doble desplazamiento a la izquierda ó a la derecha.

c). De Rotación.

ROL/ROR: Rotación a la izquierda ó a la derecha.
RCL/RCR: Rotación a través del Acarreo a la izquierda ó a la derecha.

5.- Instrucciones para la Manipulación de Bits:

a). De simple bit.

BT: Prueba de un bit.
BTS: Prueba de un bit y puesta a "1" lógico.
BTR: Prueba de un bit y puesta a "0" lógico.
BTC: Prueba de un bit y complemento.
BSF: Búsqueda de un bit hacia adelante.
BSR: Búsqueda de un bit hacia atrás.

b). De cadena de bits.

IBTS: Inserta cadena de bits.
XBTS: Intercambia cadena de bits.

6.- Instrucciones Condicionales:

SETCC: Poner el byte igual al código de condición.
JAJNBE: Salta si más alto/no más bajo ó igual.
JAE/JNB: Salta si más alto ó igual/no menor.
JBI/JNAE: Salta si más bajo/no mayor ó igual.
JC: Salta si el Acarreo es "1" lógico.
JE/JZ: Salta si igual/cero.

JG/JNLE: Salta si mayor/no menor ó igual.
JL/JNGE: Salta si menor/no mayor ó igual.
JLE/JNG: Salta si menor ó igual/no mayor.
JNC: Salta si no Acarreo.
JNE/JNZ: Salta si no igual/no cero.
JNO: Salta si no Overflow.
JNP/JPO: Salta si no Paridad/paridad impar.
JNS: Salta si el señalizador de Signo es 0.
JO: Salta si hay Overflow.
JP/JPE: Salta si Paridad/paridad par.
JS: Salta si el señalizador de Signo es 1.

a). Transferencias Incondicionales.

CALL: Llamada a procedimiento ó tarea.
RET: Retorno desde procedimiento ó tarea.
JMP: Salto incondicional.

b). De control de iteración.

LOOP: Bucle repetitivo según C.
LOOPE/LOOPZ: Bucle repetitivo si igual/cero.
LOOPNE/LOOPNZ: Bucle si no igual/no cero.
JCXZ: Salta si el registro CX = 0.

c). De interrupción.

INT: Interrupción por programa.
INTO: Interrupción si hay Overflow.
IRET: Retorno desde interrupción.
CLI: Pone a cero el señalizador de Interrupción.
STI: Pone a uno el señalizador de Interrupción.

7 - De Soporte a Los Lenguajes de Alto Nivel:

BOUND: Comprueba los límites de un array ó una tabla.
ENTER: Inicializa parámetros para entrar en un procedimiento.
LEAVE: Dejar procedimiento.

8 - Para Modelo de Protección:

SGTD: Almacena Tabla de Descriptores Globales (GTD).
SIDT: Almacena Tabla de Descriptores de Interrupción (IDT).
STR: Almacena Registro de Tarea (TR).
SLDT: Almacena Tabla de Descriptores Locales (LDT).
LGDT: Carga Tabla de Descriptores Globales.
LTR: Carga Registro de Tarea.
LIDT: Carga Tabla de Descriptores de Interrupción.
LLDT: Carga Tabla de Descriptores Locales.

ARPL: Ajuste al nivel de privilegio solicitado.

LAR: Carga derechos de acceso.

LSL: Carga limite de segmento.

VERR/VERW: Verifica segmento para lectura ó escritura.

LWSW: Carga la "palabra de estado de la máquina", que son los 16 Bits de menos peso de CRO.

SMSW: Almacena la palabra de estado.

9 - Instrucciones para el control del μP :

HLT: Alto.

WAIT: Espera hasta que BUSY# se niegue.

ESC: Escape.

LOCK: Bus LOCK.

CAPITULO III

MICROPROCESADOR 80486

III.1.- Introducción.

Los nuevos μP 's 80486 también de Intel, son una versión del $\mu P80386$ mejorada. La arquitectura de este μP es resultado de la integración de 4 Circuitos Integrados, los cuales son:

- 1.- Un μP 80386.
- 2.- Un coprocesador numérico 80387.
- 3.- Un controlador de caché modificado.
- 4.- Uso de memoria caché de 4 Kbytes.

El juego de instrucciones que pueden procesar, número y tamaño de registros, etc., son los mismos en ambos casos. La diferencia estriba en que el Circuito Integrado 80486 lleva incorporado todos los circuitos del caché de memoria dentro de sí mismos. Del mismo modo se dispone la circuitería del coprocesador matemático 80387 que desaparece como tal y pasa a formar parte del propio CI del μP .

Como nuevas aportaciones tenemos algunos bits de estado y seis instrucciones que sirven de soporte especialmente a la tecnología de procesador múltiple, el $\mu P80486$ de Intel cuenta con una microarquitectura de 32 bits y se compone básicamente de nueve unidades funcionales. La interfase de bus, juega el papel de puerto de comunicaciones para las unidades de almacenamiento masivo y los elementos de interfase de un ordenador 80486 de Intel. El bus de 32 bits contiene las líneas de direcciones y las cuatro líneas de control del bus. Con estas 32 líneas se pueden enviar al área física de direccionamiento, 2 elevado a la potencia 32. Si el μP se hace funcionar con el modo operativo virtual, se pueden direccionar 64 TBytes virtualmente.

Otra de las ventajas de este bus de direcciones es que puede trabajar en doble dirección. No sólo puede propagar direcciones sino que también pueden leer direcciones externas. Las estructuras internas de Bus, hacen que este μP se distinga por su adaptación óptima y por su diseño, las unidades más importantes son: La Unidad Lógica Aritmética (ALU), la Unidad de Punto Flotante (FPU) y la Unidad de Memoria Caché.

Estas se encuentran conectadas por medio de dos buses de datos de 32 bits, lo que permite prescindir del bus externo que actúa como un cuello de botella en el $\mu P80386$ y el coprocesador matemático 80387. La memoria caché posee un formato de 128 bits de ancho con el que queda asegurada una gran velocidad en la transmisión de direcciones e instrucciones. La cola de espera de comandos igualmente fue ampliada a 32 bits.

El $\mu P80486$ de Intel, posee una entrada directa para el pulso de sincronía (ó pulso de reloj). De esta forma ya no necesita ningún generador externo. A esta entrada de reloj se puede conectar un sencillo generador capaz de entregar una señal rectangular; el $\mu P80486$ trabaja con esta señal y esta frecuencia. El sistema convencional de bus del $\mu P80486$, está repartido entre el bus de datos y el bus de direcciones, y el bus de control. Con este μP se puede disponer de formato de bus de 8 y 24 bits de ancho.

Gran parte del rendimiento del $\mu P80486$ es debida al caché de instrucciones y datos con una capacidad de memoria de 8Kbytes. El controlador de caché junto con la memoria ocupa un espacio considerable en el Circuito Integrado (CI), de modo que es posible integrar una sola unidad de controlador de caché con la correspondiente memoria caché de 32 bits. Esta memoria interna sigue el mecanismo en el cual se asegura que los datos de la memoria principal y la memoria caché sean idénticos. La memoria caché del $\mu P80486$ tiene una estructura asociativa de 4 vías y utiliza un algoritmo LRU, para sustituir de una entrada de memoria de 16 bits. La memoria caché contiene 16 Kbytes por línea, lo que hace un total de 128 líneas en cada banco de 2 Kbytes.

El proceso LRU sirve para examinar las líneas de caché. Si el μP detecta una línea de caché que apenas se utiliza, exigirá que sean cambiados los datos. De esta manera se asegura que la memoria caché no se convierta en residencia de datos innecesarios. Se necesitan 4 entradas de 32 bits al bus de direcciones para poder cambiar una línea entera (de 16 bits) de la memoria caché. Al μP le basta con definir una vez las direcciones iniciales para seguidamente poder leer cuatro bytes en un ciclo.

Otro de lo nuevo que presenta este μP es la arquitectura " Pipeline ", en cinco niveles. Esta técnica permite el procesamiento en paralelo de cinco instrucciones en diferentes niveles de ejecución. El procesamiento de cinco niveles con una secuencia de instrucciones, a continuación sigue la decodificación de dos niveles; la ejecución de las demás instrucciones y como último la escritura en la memoria caché. El procesamiento de instrucciones contiene un puerto de codificación y otro de datos, comunicados con la memoria caché. Las ranuras de decodificación se pueden acceder mediante el bus de instrucciones. El primer nivel de decodificación determina el tipo de operación, y el segundo la línea de dirección del operador. Como los dos niveles trabajan superpuestos, en cada ciclo de reloj se decodifica cada una de las instrucciones. Si la segunda instrucción necesita el resultado de la primera, el primer nivel de decodificación deberá esperar hasta que esté listo el resultado.

Es un dispositivo altamente integrado que contiene más de 1 200 000 transistores. Intel ha mostrado una versión del $\mu P80486$ a 100 Mhz, pero aún no sale al mercado. El $\mu P80486$ viene como un 80486DX ó como un 80486SX. La única diferencia entre estos dispositivos es que el 80486SX no contiene coprocesador matemático, lo cual reduce su precio. (El coprocesador matemático 80487SX está disponible como un componente separado para el $\mu P80486SX$. También están disponibles las versiones de doble reloj como el $\mu P80486DX2$ (versiones de 50 y de 60 Mhz).

Las versiones de doble reloj operan internamente a 50 ó 60 MHz; sin embargo, utilizan una velocidad de canal de 25 ó 33 MHz externamente para facilitar los requerimientos al sistema de la memoria. También están disponibles las versiones extendidas (Overdrive) que son circuitos extras que se insertan en una base junto al μP , para incrementar el funcionamiento a casi lo mismo que la versión de doble reloj. El procesador "Overdrive" es una manera eficiente para escalar un $\mu P80486SX$ si lo soporta la tarjeta principal. Las diferencias más notables entre el 80486 y el 80386 se aplican al sistema de memoria caché y al generador de paridad.

III.2.- Modo de Operación del $\mu P80486$.

La fig. III.1, presenta el diagrama de base del $\mu P80486DX$, para un encapsulado PGA de 168 terminales. El $\mu P80486SX$, también está encapsulado en un PGA de 168 terminales, pero tiene muy pocas diferencias respecto al dispositivo DX. Cuando se conecta el $\mu P80486$, todas las terminales de Vcc y Vss deben estar conectadas a la fuente de alimentación para un funcionamiento correcto. La fuente de voltaje debe ser capaz de suministrar $+5 \pm 10\%$, con un consumo de hasta 1.2 Anp. de corriente para la versión de 33 MHz. El consumo promedio de corriente es de 650 mA para la versión de 33 MHz. Un cero lógico de salida permite hasta 4.0 mA y un uno lógico de salida hasta 1.0 mA. Si se requieren corrientes más altas, como a menudo lo son, entonces el $\mu P80486$ debe ser acoplado.

El $\mu P80486$ contiene 4 GBytes de memoria comenzando en la localidad 00000000H y terminando en la localidad FFFFFFFFH. El cambio principal en el sistema de memoria es interno en el $\mu P80486$, en la forma de una memoria caché de 8 KBytes la cual acelera la ejecución de instrucciones y la adquisición de información. Otra adición es el verificador/generador de paridad incluido en el $\mu P80486$. El sistema verificador/generador de paridad es frecuentemente usado para determinar si la información se leyó correctamente de una localidad de la memoria.

La paridad se genera en el $\mu P80486$ durante cada ciclo de estructura. La paridad será generada como paridad par y un bit de paridad será proporcionado para cada byte de la memoria. Los bits de verificación de la paridad aparecen en las terminales correspondientes, las cuales también son entradas así como salidas de paridad. El $\mu P80486$ incluye una unidad de paginación para permitir que cualquier bloque de 4 KBytes de memoria física sea asignado a cualquier bloque de 4 KBytes de memoria lineal. El sistema de paginación del $\mu P80486$ puede deshabilitar el uso de memoria caché para secciones de páginas de memoria transformadas.

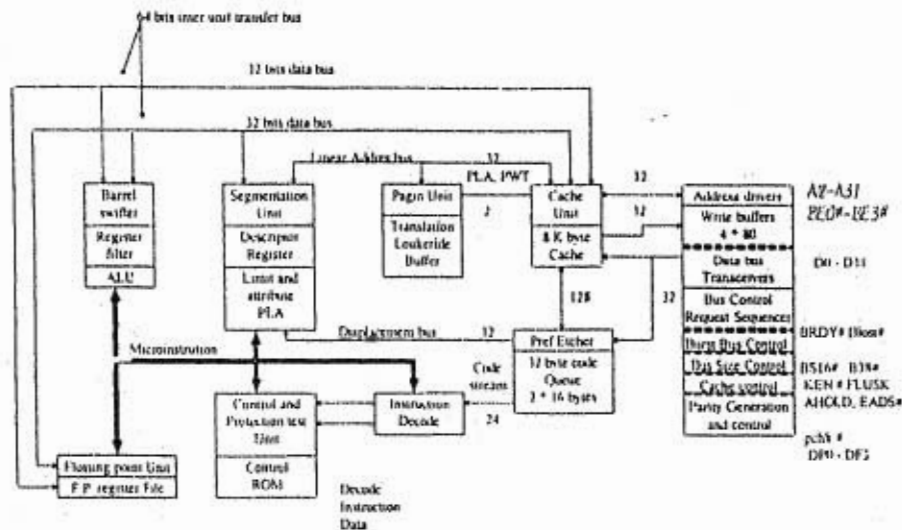


Fig. III.1.- Diagrama de terminalas del $\mu P80486$ de Intel

III.3.- Arquitectura Interna.

El $\mu P80486$, como cualquier otro miembro de la familia 386, es un superconjunto de la arquitectura 386, una arquitectura de 32 bits con direccionamiento virtual de 4 TBytes y tres modos básicos de funcionamiento: Real, Protegido y Paginado. El $\mu P80486$ arranca en modo real cuando se le conecta la alimentación.

Este se usa para ejecutar aplicaciones producidas para el $\mu P8086$. Es el modo de funcionamiento por defecto, ya que las aplicaciones de 16 bits (8086) han sido las primeras en existir en el mercado.

Las nuevas aplicaciones en modo protegido tienen en cuenta este hecho y son capaces de arrancar en modo real para, inmediatamente, conmutar el μP en modo protegido. La compatibilidad es completa, pero el $\mu P80486$ es mucho más rápido por lo cual algunas medidas de tiempo mediante ciclos de programa pueden ser erróneas al ser éstos ejecutados más rápidamente.

El modo protegido hace uso de toda la potencia de 32 bits disponible en el $\mu P80486$. Es su modo nativo de funcionamiento, en el que se pueden utilizar ciertos privilegios que el μP pone a disposición del Sistema Operativo y de las aplicaciones avanzadas. La protección se lleva a cabo mediante el uso de segmentos específicos para código, datos, pila, etc.

Dentro del modo protegido se pueden seleccionar como opciones el Modo Paginado y el Modo Virtual. El Modo Paginado permite la utilización de Sistemas Operativos (UNIX, por ejemplo), que se basan en el empleo de páginas para acceder al espacio virtual de direccionamiento y la implantación de la protección entre tareas y usuarios.

Mediante el Modo Virtual se pueden tener simultáneamente múltiples entornos de emulación de $\mu P8086$ y coexistiendo con aplicaciones protegidas en 32 bits. Todos estos modos están soportados por una arquitectura interna que es la encargada de ofrecer un modelo de programación acorde con las posibilidades del μP . Se pueden apreciar nueve unidades fundamentales diferenciadas, y cada una de ellas realiza una tarea específica independiente de las demás.

Por lo tanto, cualquiera de ellas puede, operando en paralelo, con las otras; sobre la misma instrucción ó sobre diferentes, dependiendo de su tipo. Estas unidades fundamentales son:

- 1.- Unidad de Interconexión con el Bus.
- 2.- Unidad de Pre-búsqueda.
- 3.- Unidad de Memoria Caché.
- 4.- Unidad de Decodificación.
- 5.- Unidad de Control.
- 6.- Unidad de Enteros.
- 7.- Unidad de Punto Flotante.
- 8.- Unidad de Segmentación.
- 9.- Unidad de Paginación.

La Unidad de Interconexión con el bus es la única unidad del $\mu P80486$ que tiene una comunicación directa con el exterior. Todas las demás unidades se sirven de ella para interactuar con los dispositivos periféricos, con la memoria principal ó con otros μP 's. Esta unidad es responsable del tratamiento de todas las señales que constituyen el bus externo del μP . Sus interlocutores internos son la unidad de memoria caché y la unidad de pre-búsqueda. La comunicación se establece con la primera por medio de dos buses bidireccionales de 32 bits, uno de ellos se utiliza para el intercambio de datos y otro para el de direcciones.

También tiene por misión enviar instrucciones a ejecutar a la Unidad de Pre-búsqueda cuando la memoria caché interna no ha podido suministrarlas. Las envía en paralelo a la Unidad de Caché de forma que ésta almacene (si es factible) los códigos de las instrucciones accedidas para posibles referencias futuras. El bus de 32 bits utilizado para ello es compartido tanto por la Unidad de Pre-búsqueda como por la unidad de caché. La Unidad de Pre-búsqueda tiene como objetivo proporcionar las instrucciones que hay que ejecutar a la Unidad de Decodificación, lo hace a través del bus interno de 24 líneas. Se comunica con la Unidad de Caché a través del bus de 128 bits, y con la Unidad de Segmentación a través de otro bus de 32 bits.

La Unidad de Decodificación interpreta las instrucciones generando las señales de control necesarias, las microinstrucciones a ejecutar, así como los puntos de entrada de microcódigo. La Unidad de Control ejecuta el microcódigo asignado por la Unidad de Decodificación y mediante las correspondientes microinstrucciones establece las operaciones a realizar en las Unidades de Enteros, de Punto Flotante y de Segmentación.

Las Unidades de Enteros y de Punto Flotante son las encargadas de realizar los cálculos de Punto Fijo y en Punto Flotante, respectivamente. Cada una de ellas posee su propio conjunto de registro especiales y de propósito general. La Unidad de Enteros incluye, de forma invisible para el programador, las posiciones de almacenamiento interno que precisan para realizar la transferencia de datos dentro del Circuito Integrado.

Las Unidades de Segmentación y de Paginación son las encargadas de calcular las direcciones. La Unidad de Segmentación traduce las direcciones lógicas de direcciones lineales y controla las protecciones entre los diferentes segmentos. La Unidad de Paginación convierte las direcciones lineales en direcciones físicas y se encarga de controlar las entradas a las páginas. La Unidad de Caché se comunica con la Unidad de Cálculo de Enteros y con la Unidad de Cálculo en Punto Flotante a través de un bus bidireccional de 64 bits para la transferencia rápida de datos. También existe un bus de 64 bits entre la Unidad de Segmentación y la de Caché para la transferencia rápida de los datos.

Las instrucciones se ejecutan secuencialmente según el flujo de programa. En un instante dado sólo puede haber una instrucción ejecutándose en un μP que no sea superescalar; es decir, que no se componga de varias unidades de ejecución con capacidad de cálculo simultáneo. Sin embargo, una instrucción simple pasa por las diferentes fases de proceso antes de ser completada. En el caso del $\mu P80486$, las fases por las que tiene que pasar una instrucción antes de ser considerada a ser finalizada son:

- 1.- Fase de Pre-búsqueda.
- 2.- Fase de Primera Decodificación.
- 3.- Segunda Fase de Decodificación.
- 4.- Fase de Ejecución.
- 5.- Fase de Escritura Inmediata.

La disposición de estas distintas operaciones realizadas una tras otra sobre cada instrucción toma el nombre de cascada de instrucciones (" Pipeline "). El $\mu P80486$, dispone de una cascada de instrucciones con las cinco etapas enumeradas anteriormente. Mientras una instrucción está en la fase de almacenar sus resultados en algún registro intermedio de escritura, otra puede estar ejecutando una operación aritmética, otras dos decodificándose en una de las etapas y otra, en la fase de Pre-búsqueda. La cascada de instrucciones hace factible conseguir tiempos de ejecución de un ciclo por instrucción. En el caso del $\mu P80486$ es incluso, más eficiente que en muchos μP 's de tipo RISC (Es un acrónimo de las siglas en inglés para Computadora con Reducido Conjunto de Instrucciones. Este tipo de arquitectura tiene instrucciones hasta de seis campos y ningún registro. Es en esencia una computadora con un reducido número de instrucciones verticales). Los datos pueden cargarse desde la Memoria Caché interna en un ciclo y ser utilizados por la siguiente instrucción para operar con ellos en el siguiente ciclo de reloj. Esta es la forma más natural en la que trabajan los compiladores. Generar las instrucciones de carga de registros seguidas de instrucciones que operan sobre los datos cargados. El $\mu P80486$ optimiza la ejecución del código binario resultante.

La Unidad de Control es el motor del $\mu P80486$ y contiene la Memoria de Sólo Lectura (ROM) con el Microprograma. La secuencia que se ejecuta depende de la instrucción decodificada y del punto de entrada recibidos de la Unidad de Decodificación. El secuenciador de Microinstrucciones forma parte de esta unidad. Se utiliza una única Memoria de sólo Lectura de Microcódigo tanto para las operaciones enteras como reales (Punto Fijo y Punto Flotante). Algunas instrucciones consisten en una sola línea de Microcódigo por lo que se ejecutan en un ciclo de reloj. En esta unidad se comprueban todos los atributos de protección entre segmentos de páginas, etc. También se gestionan las excepciones que produce la Unidad de Punto flotante. La salida de esta Unidad son las señales que indican las operaciones a realizar por la Unidad de Enteros, la Unidad de Punto Flotante y la Unidad de Segmentación. Su responsabilidad incluye la detección y gestión de excepciones, puntos de parada e interrupciones. En lo referente a las interrupciones, la Tarjeta Principal tiene dos Controladores de Interrupción (Maestro/Esclavo) en forma de cascada para obtener 15 niveles de interrupción. La dirección de Entrada/Salida base para el controlador de Interrupción 1 (Maestro) es HEX 20, mientras que para el controlador de interrupción 2 (Esclavo) es HEX A0.

III.4.- Registros Internos Del $\mu P80486$

El $\mu P80486$ tiene los registros agrupados en las siguientes categorías:

- 1.- Registros de propósito general.
- 2.- Registros de segmento.
- 3.- Instrucciones de puntero y banderas.
- 4.- Registros de control.
- 5.- Registros del sistema de direcciones.
- 6.- Registros depuradores.
- 7.- Registros de prueba.

Todos los registros anteriores son un "superconjunto" de los registros manejados anteriormente, por todos los μP 's precedentes de Intel.

La arquitectura base además, incluye seis segmentos que se pueden acceder directamente, cada uno de 4 Gigabytes, los segmentos son seleccionados colocando los valores adecuados en el registro de segmentos del $\mu P80486$, varios valores seleccionados pueden ser cargados cuando un programa se está ejecutando si así se desea.

III.5.- Juego De Instrucciones Del $\mu P80486$.

El juego de instrucciones está dividido en nueve categorías de operación:

- 1.- Transferencia de datos.
- 2.- Aritmética.
- 3.- Rotación.
- 4.- Manipulación de cadenas.
- 5.- Manipulación de bit.
- 6.- Transferencias de control.
- 7.- Soporte de lenguajes de alto nivel.
- 8.- Soporte de sistemas operativos.
- 9.- Control de procesos.

Todas las instrucciones operan con 0, 1, 2 ó 3 operandos, donde un operando reside en un registro, dentro de la misma instrucción ó en memoria; la mayoría de las operaciones e instrucciones cero toman únicamente un byte, una instrucción de operando generalmente tiene una longitud de 2 bytes, el promedio de la longitud de las instrucciones es de 3,2 bytes.

El uso de dos operandos permite los siguientes tipos de instrucciones comunes:

- 1.- Registro a registro.
- 2.- Memoria a registro.
- 3.- Inmediato a registro.

- 4 - Registro a memoria.
- 5 - Inmediato a memoria.

Los operandos pueden ser de 8, 16 ó 32 bits de largo, como regla general, cuando se ejecuta un código de escritura (código de 32 bits), los operandos son de 8 ó 32 bits.

A continuación se presenta el juego completo de instrucciones del $\mu P80486$ en función de los siguientes parámetros y funciones:

1 - Transferencia de Datos.

- a). De propósito general.
- b). De conversión.
- c). De Entrada/Salida.
- d). De direccionamiento.
- e). De manipulación de banderas ó interrupciones.

2 - De Instrucciones Aritméticas.

- a). De operación suma.
- b). De operación resta.
- c). De operación multiplicación.
- d). De operación división.

3 - De Instrucciones de Comparación.

4 - De operaciones Lógicas.

- a). De operaciones lógicas.
- b). De cambio.
- c). De rotación.

5 - Instrucciones de Manipulación de Bits.

- a). Instrucciones de bit simple.
- b). Instrucciones de comparación de bit.

6 - Instrucciones de Control de Programa.

- a). Transferencias condicionales.
- b). Transferencias no condicionales.
- c). Control de iteraciones.
- d). Interrupciones.

7 - Instrucciones de Lenguajes de Alto Nivel.

8 - Instrucciones de Modo de Protección.

9.- Instrucciones de Control del μP .

También a continuación, se presenta el juego (SET) de instrucciones del coprocesador matemático 80487, el cual le confiere al μP , la ventaja de encargarse de las operaciones matemáticas, lo cual permite que el tiempo de ejecución global sea menor. Trayendo una eficiencia superior en su desempeño; pero se debe de tener presente, que existen versiones del $\mu P80486$ que ya vienen con el coprocesador matemático incluido en el mismo encapsulado del $\mu P80486$, este modelo del 486 es el $\mu P80486DX$. Más lo anterior no quiere decir que el 80487 no tenga su propio juego de instrucciones, por lo que se mostrará después de analizar el del propio $\mu P80486$.

Fig. III.2 Juego de Instrucciones del P80486

| DATA TRANSFER GENERAL PURPOSE | | ARITHMETIC INSTRUCTIONS | |
|----------------------------------|--|-------------------------|---------------------------------------|
| MOV | Move operand | ADD | Add operands |
| PUSH | Push operand onto stack | ADC | Add with carry |
| POP | Pop operand off stack | INC | Increment operand by 1 |
| PUSHA | Push all registers on stack | AAA | ASCII adjust for addition |
| POPA | Pop all register off stack | DAA | Decimal adjust for addition |
| XCHG | Exchange Operand, Register | SUBTRACTION | |
| XLAT | Translate | SUB | Subtract operands |
| CONVERSION | | SBB | Subtract with borrow |
| MOVZX | Move byte or Word, Dword with zero extension | DEC | Decrement operand by 1 |
| MOVSX | Move byte or Word, Dword sign extend | NEG | Negate operand |
| CBW | Convert byte to Word, or Word to Dword | CMPL | Compare operands |
| CWD | Convert Word to DWORD | DAS | Decimal adjust for subtraction |
| CQDE | Convert Word to DWORD extended | AAS | ASCII Adjust for subtraction |
| CDQ | Convert DWORD to QWORD | MULTIPLICATION | |
| IN | Input operand from I/O space | MUL | Multiply Double/single Precision |
| OUT | Output operand to IO space | IMUL | Integer multiply |
| ADDRESS OBJECT | | AMM | ASCII adjust after multiply |
| LEA | Load effective address | DIVISION | |
| LDS | Load pointer into D segment register | DIV | Divide unsigned |
| LES | Load pointer into E segment register | IDIV | Integer Divide |
| LFS | Load pointer into F segment register | AAD | ASCII adjust before division |
| LGS | Load pointer into G segment register | String instructions | |
| LSS | Load pointer into S (Stack) segment register | MOVS | Move byte or Word, Dword string |
| FLAG MANIPULATION | | INS | Input string from I/O space |
| LAHF | Load A register from flags | OUTS | Output string to I/O space |
| SAHF | Store A register in Flag | CMPS | Compare byte or Word, Dword, string |
| PUSHF | Push flags onto stack | SCAS | Scan Byte or Word Dword string |
| POPF | Pop flags off stack | LODS | Load byte or Word, Dword string |
| PUSHFD | Push EFlags onto stack | STOS | Store byte or Word Word, Dword string |
| POPPD | Pop EFlags off stack | REP | Repeat |
| CLC | Clear Carry Flag | REPE/ | Repeat while equal/Zero |
| CLD | Clear Director Flag | REPZ/ | Repeat while equal/Zero |
| CNC | Complement Carry Flag | RENE/ | Repeat while not equal/not zero |
| STC | Set Carry Flag | REPNZ | Repeat while not equal/not zero |
| STD | Set Direction Flag | Logical Instructions | |
| | | LOGICALS | |
| | | NOT | "NOT" operands |
| | | AND | "AND" operands |
| | | OR | "Inclusive OR" operands |
| | | XOR | "EXCLUSIVE OR" operands |
| | | TEST | "TEST" operands. |

Fig. III.3 Juego de Instrucciones del P80486 (Continuacion).

| (Continued) | | Program Control Instructions | |
|-------------------------------------|------------------------------------|---|---|
| Logical Instruction | | UNCONDITIONAL TRANSFERS | |
| SHL/SHR | Shift logical left or right | CALL | Call procedure/task |
| SAL/SAR | Shift arithmetic left or right | RET | Return from procedure |
| SHLD/SHRD | Double shift left or right | JMP | Jump |
| | ROTATES | ITERATION CONTROLS | |
| ROL/NOR | Rotate left/right | LOOP | Loop |
| RCL/RCR | Rotate through carry left/right | LOOPE/ | |
| | | LOOPZ | Loop if equal/zero |
| | | LOOPNE/ | |
| | | LOOPNZ | Loop if not equal/not zero |
| | | JCJZ | JUMP if register CX=0 |
| Bit Manipulation Instruction | | INTERRUPTS | |
| SINGLE BIT INSTRUCTION | | INT | Interrupt |
| BT | Bit Test | INTO | Interrupt if overflow |
| BTS | Bit Test and Set | IRET | Return from interrupt/task |
| BTR | Bit Test and Reset | CLI | Clear interrupt Enable |
| BTC | Bit Test and Complement | STI | Set interrupt Enable |
| BSF | Bit Scan Forward | High Level Language Instructions | |
| BSR | Bit Scan Reverse | BOUND | Check Array Bounds |
| BIT STRING INSTRUCTIONS | | enter | setup Parameter Block for Bitstring Procedure |
| IBTS | Insert Bit String | LEAVE | Leave Procedure |
| XBTS | Exact Bit String | Protection Model | |
| Program Control Instructions | | SCDT | Store Global Descriptor Table |
| CONDITIONAL TRANSFERS | | SIDT | Store Interrupt Descriptor Table |
| SETCC | Set byte equal to condition code | STR | Store Task Register |
| JA/JNBE | Jump if above/not below nor equal | SLDT | Store Local Descriptor Table |
| JAE/JNB | Jump if above or equal/not below | LGDT | Load Global Descriptor Table |
| JB/JNAE | Jump if below/not above nor equal | LIDT | Load Interrupt Descriptor Table |
| JBE/JNA | Jump if below or equal/not above | LTR | Load Task Register |
| JC | Jump if carry | LIDT | Load Local Descriptor Table |
| JE/JZ | Jump if equal/zero | ARPL | Adjust Requested Privilege Level |
| JG/JNLE | Jump if greater/not less | LAR | Load Access Rights |
| JGE/JNL | Jump if greater or equal not less | VERR/ | |
| JL/JNGE | Jump if less/not greater nor equal | VERW | Verify Segment for Reading or Writing |
| JLE/JNG | Jump if less or equal/not greater | LMSW | Load Machine Status Word (lower 16 bits of CRO) |
| JNC | Jump if not carry | SMSW | Store Machine Status Word |
| JNE/JNZ | Jump if not equal/not zero | Processor Control Instructions | |
| JNO | Jump if not overflow | HLT | Halt |
| JNP/JPO | Jump if not parity/parity odd | WAIT | Wait until BUSY# negated |
| JNS | Jump if not sign | ESC | Escape |
| JO | Jump if overflow | LOCK | Lock Bus |
| JP/JPE | Jump if parity/parity even | | |
| JS | Jump if Sign | | |

| Instruction | ESCS | | | Clock Count Range | | | |
|---------------------------------------|----------|-------------|--------------------|-------------------|------------------|--------------|------------------|
| | Byte 0 | Byte 1 | Optional Bytes 2-3 | 33-64 Fwd | 33-64 Integer | 65-96 Fwd | 65-96 Integer |
| DATA TRANSFER | | | | | | | |
| FLD - Load | | | | | | | |
| Integer/real memory to ST(0) | ESC MF 1 | MOD 000 R/M | S0/DSP | 20 | 45-52 | 23 | 81-85 |
| Long integer memory to ST(0) | ESC 111 | MOD 101 R/M | S0/DSP | | 56-67 | | |
| Extended real memory to ST(0) | ESC 011 | MOD 101 R/M | S0/DSP | | 44 | | |
| BCD memory to ST(0) | ESC 111 | MOD 100 R/M | S0/DSP | | 269-276 | | |
| ST(0) to ST(0) | ESC 001 | 11000 ST(0) | | | 14 | | |
| FST - Store | | | | | | | |
| ST(0) to Integer/real memory | ESC MF 1 | MOD 010 R/M | S0/DSP | 44 | 71-93 | 45 | 82-85 |
| ST(0) to ST(0) | ESC 101 | 11010 ST(0) | | | 11 | | |
| FSTP - Store and Pop | | | | | | | |
| ST(0) to Integer/real memory | ESC MF 1 | MOD 011 R/M | S0/DSP | 44 | 71-93 | 45 | 82-85 |
| ST(0) to long integer memory | ESC 111 | MOD 111 R/M | S0/DSP | | 80-87 | | |
| ST(0) to extended real | ESC 011 | MOD 111 R/M | S0/DSP | | 53 | | |
| ST(0) to BCD memory | ESC 111 | MOD 110 R/M | S0/DSP | | 317-324 | | |
| ST(0) to ST(0) | ESC 101 | 11001 ST(0) | | | 12 | | |
| FEXH - Exchange | | | | | | | |
| ST(0) and ST(0) | ESC 001 | 11001 ST(0) | | | 15 | | |
| COMPARISON | | | | | | | |
| FCOM - Compare | | | | | | | |
| Integer/real memory to ST(0) | ESC MF 0 | MOD 010 R/M | S0/DSP | 28 | 86-83 | 31 | 71-75 |
| ST(0) to ST(0) | ESC 000 | 11010 ST(0) | | | 24 | | |
| FCOMP - Compare and pop | | | | | | | |
| Integer/real memory to ST | ESC MF 0 | MOD 011 R/M | S0/DSP | 28 | 58-83 | 31 | 71-75 |
| ST(0) to ST(0) | ESC 000 | 11011 ST(0) | | | 28 | | |
| FCOMPP - Compare and pop twice | | | | | | | |
| ST(0) to ST(0) | ESC 110 | 11011001 | | | 26 | | |
| FIST - Test ST(0) | ESC 001 | 11101000 | | | 28 | | |
| FXAM - Examine ST(0) | | | | | | | |
| | ESC 001 | 11100101 | | | 30-36 | | |
| CONSTANTS | | | | | | | |
| FLDE - Load + 0.0 to ST(0) | ESC 001 | 11101110 | | | 20 | | |
| FLDI - Load + 1.0 to ST(0) | ESC 001 | 11101000 | | | 24 | | |

Fig. III.4. - Juego de Instrucciones para el Coprocesador 80487.

| Instruction | Encoding | | | Clock Count Range | | | |
|--|-----------|--------------|--------------------|-------------------|----------------------|-------------|----------------------|
| | Byte 0 | Byte 1 | Optional Bytes 2-3 | 32 Bit Real | 32 Bit Integer | 64 Bit Real | 16 Bit Integer |
| CONSTANTS (Continued) | | | | | | | |
| FLDQ2 = Load $\log_2(x)$ into R(R) | ESC 001 | 1110 1010 | | | 40 | | |
| FLDQ3 = Load $\log_2(x)$ into S(S) | ESC 001 | 1110 1100 | | | 41 | | |
| FLDQR = Load $\log_2(x)$ into R(S) | ESC 001 | 1110 1101 | | | 41 | | |
| ARITHMETIC | | | | | | | |
| FADD = Add | | | | | | | |
| Integer/real memory with S(S) | ESC MF 0 | MOO 000 R/RM | S/R/DXSP | 24-32 | 57-72 | 29-37 | 71-85 |
| S(S) and S(S) | ESC d P 0 | 11000 S1/S2 | | | 25-31 ^a | | |
| FSUB = Subtract | | | | | | | |
| Integer/real memory with S(S) | ESC MF 0 | MOO 10 R/RM | S/R/DXSP | 24-32 | 57-82 | 29-36 | 71-87 ^b |
| S(S) and S(S) | ESC d P 0 | 1110 R/RM | | | 26-34 ^d | | |
| FMUL = Multiply | | | | | | | |
| Integer/real memory with S(S) | ESC MF 0 | MOO 001 R/RM | S/R/DXSP | 27-35 | 81-82 | 32-37 | 76-87 |
| S(S) and S(S) | ESC d P 0 | 1100 1 R/RM | | | 28-37 ^a | | |
| FDIV = Divide | | | | | | | |
| Integer/real memory with S(S) | ESC MF 0 | MOO 11 R/RM | S/R/DXSP | 88 | 120-127 ^e | 84 | 126-140 ^f |
| S(S) and S(S) | ESC d P 0 | 1111 R/RM | | | 84 ^g | | |
| FDRTR = Square root | | | | | | | |
| S(S) | ESC 001 | 1111 1010 | | | 127-129 | | |
| FSCALE = Scale S(S) by S(S) | | | | | | | |
| S(S) | ESC 001 | 1111 1101 | | | 87-96 | | |
| FRREM = Partial remainder | | | | | | | |
| S(S) | ESC 001 | 1111 1000 | | | 74-150 | | |
| FRNDHT = Round S(S) to Integer | | | | | | | |
| S(S) | ESC 001 | 1111 1100 | | | 86-88 | | |
| FEXTRACT = Extract components of S(S) | | | | | | | |
| S(S) | ESC 001 | 1111 0100 | | | 70-78 | | |
| FABS = Absolute value of S(S) | | | | | | | |
| S(S) | ESC 001 | 1110 0001 | | | 22 | | |
| FNCHS = Change sign of S(S) | | | | | | | |
| S(S) | ESC 001 | 1110 0000 | | | 24-26 | | |

NOTES:

- b. Add 3 clocks to the range when d = 1.
- c. Add 1 clock to each range when R = 1.
- d. Add 3 clocks to the range when d = 0.
- e. Typical = 52 (When d = 0, 46-54, typical = 49).
- f. Add 1 clock to the range when R = 1.
- g. 135-141 when R = 1.
- h. Add 3 clocks to the range when d = 1.
- i. $-0 \leq S(S) \leq +\infty$

Fig. III.5.- Juego de Instrucciones del Coprocesador 80487 (Continuación).

| Instrucción | Encoding | | | Clock Count Range |
|---------------------------------------|----------|-------------|-----------------------|-------------------|
| | Byte 0 | Byte 1 | Optional Bytes 2-8 | |
| TRANSCENDENTAL | | | | |
| FCOBI = Cosine of ST(0) | ESC 001 | 1111 1111 | | 123-178 |
| FPATAN = Partial tangent of ST(0) | ESC 101 | 1111 0010 | | 181-187 |
| FPATAN = Partial arctangent | ESC 001 | 1111 0011 | | 214-217 |
| FSINH = Sine of ST(0) | ESC 001 | 1111 1110 | | 222-270 |
| FSINCOBI = Sine and cosine of ST(0) | ESC 001 | 1111 1011 | | 184-208 |
| F21M1 = $2^{14}x - 1$ | ESC 001 | 1111 0000 | | 213-410 |
| PYL2M = $S1(1) * \log_2(S1(0))$ | ESC 001 | 1111 0001 | | 120-158 |
| PYL2M1 = $01(1) * \log_2(01(0) + 10)$ | ESC 001 | 1111 1001 | | 257-347 |
| PROCESSOR CONTROL | | | | |
| FINIT = Initialize ITPA | ESC 011 | 1110 0011 | | 33 |
| FSBWA = Store status word | ESC 111 | 1110 0000 | | 13 |
| FLDCW = Load control word | ESC 001 | MOD 101 R/W | SIB 0-15 ^a | 18 |
| FSICW = Store control word | ESC 101 | MOD 111 R/W | SIB 0-15 ^a | 15 |
| FSBWA = Store status word | ESC 101 | MOD 101 R/W | SIB 0-15 ^a | 15 |
| FCLES = Clear exceptions | ESC 011 | 1110 0010 | | 11 |
| FSERV = Store environment | ESC 011 | MOD 110 R/W | SIB 0-31 ^a | 103-104 |
| FLERV = Load environment | ESC 001 | MOD 100 R/W | SIB 0-31 ^a | 71 |
| FSAVE = Save state | ESC 101 | MOD 110 R/W | SIB 0-31 ^a | 375-376 |
| FRSTOR = Restore state | ESC 101 | MOD 100 R/W | SIB 0-31 ^a | 304 |
| INCSTP = Increment stack pointer | ESC 001 | 1111 0111 | | 21 |
| DECSTP = Decrement stack pointer | ESC 001 | 1111 0110 | | 22 |
| FPARE = Free ST(0) | ESC 101 | 1100 0101 | | 18 |
| FNOP = No operations | ESC 001 | 1101 0000 | | 12 |

NOTES:

^a These timings hold for operands in the range $|x| < w/4$. For operands not in this range, up to 78 additional clocks may be needed to reduce the operand
 $k, 0 \leq |S1(0)| < 262$
 $l, -0.5 \leq S1(0) \leq 0.5$
 $m, 0 \leq S1(0) < m, -m < S1(1) < +m$
 $n, 0 \leq |S1(0)| < (2 - \text{SQRT}(2))/2, -m < S1(1) < +m$

Fig. III.6.- Juego de Instrucciones del Coprocesador 80487 (Continuación).

COMPUTADORAS DE ESCRITORIO 486DX A 33-MHz

Considere la actualización después de chequear el soporte en los proveedores, el número de ranuras de expansión y el tamaño en RAM.

| COMPANIA MODELO | Logic Research, Inc. Ryer 325 CT Model 340037W | Atos AT66 (D133) | Asa Ace Cache 486A133 | Bit Link 01 433 | Compaq Compaq 486/33 | Compaq Desktop/33 Model 210 |
|--|---|---------------------------------------|--|---|--|--|
| LIBROS | | | | | | |
| Procesadores operativos (procesador de chip) | 486SX25, 486DX33 y 50, 486DX26A | 486DX33, 486DX26A | 486DX33, 486DX50, 486DX26A | 486DX33, 486DX26A | 486DX33 | 386DX33, 486SX25, 486DX33 |
| Uso de cache | * | * | * | * | * | * |
| Possibilidad de actualizar el CPU | * | * | * | * | * | * |
| Soporte a coprocesador externo | Waters 4187 | Waters 4187 | Waters 4187 | Waters 4187 | Waters 4187 | Ninguno |
| Marca de los chips en la tarjeta madre | ALU | LANC | Compaq | LANC | Microsonic General | Compaq |
| Marca del BIOS | Phoenix | AMI | AMI | AMI | Phoenix | Compaq |
| MEMORIA | | | | | | |
| RAM estándar (Mb) | 8 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| RAM máximo (Mb) | 64 | 32 | 32 | 32 | 64 | 32 |
| Número de bancos | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno |
| Cache estándar (Kb) | 0 | 64 | 64 | 64 | 256 | 64 |
| Cache máximo (Kb) | 256 | 256 | 256 | 256 | 256 | 64 |
| SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO | | | | | | |
| Configuración estándar de disco flexible | | | | | | |
| Disco y su tipo | 1.44 Mb 3 1/2" | 1.2 Mb 5 1/4", 1.44 Mb 3 1/2" | 1.2 Mb 5 1/4", 1.44 Mb 3 1/2" | 1.2 Mb 5 1/4", 1.44 Mb 3 1/2" | 1.2 Mb 5 1/4", 1.44 Mb 3 1/2" | 1.44 Mb 3 1/2" |
| CONFIGURACIÓN DEL DISCO DURO | | | | | | |
| Capacidad estándar (Mb) | Variable | 213 | 133 | 120 | 120 | 210 |
| Marca y modelo | Variable | Maxtor RT723AT | Maxtor 7120AT | Compaq CP201041 | Lanstar 323 Mb | Compaq 210 |
| Interfaz | IDE | IDE o SCSI | IDE (SCSI OP1) | IDE (SCSI opt) | SCSI | IDE |
| Incluye controlador de cache | * | * | * | * | * | * |
| Número de drive (internos y externos) | 12 | 8 | 8 | 8 | 8 | 3 |
| Rango de la capacidad de disco duro disponible | 120Mb a 535Mb | 211 Mb a 2 Gb | 80 Mb a 1 Gb | 120Mb a 1.3Gb | 120Mb a 330Mb | 80Mb a 210Mb |
| MONITOR | | | | | | |
| Marca | ALR | Ci e 546666 | Viewsonic | Hydr 4A | AAAming | Compaq |
| Color (C Monocromático M) | C | C | C | C | C | C |
| Resolución máxima | 1024x768 | 1024x768 (sin interfaz) | 1024x768 | 1024x768 (sin interfaz) | 1024x768 | 1024x768 |
| Possibilidad de voltaje dual (115/230V) | * | * | * | * | * | * |
| RANURAS DE EXPANSIÓN | | | | | | |
| Número de ranuras ISA | 10 | 8 | 8 | 8 | 6 | 3 |
| Número de ranuras EISA | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno |
| Ranuras propietarias | Dos de 32 bits (ranuras de bus) | Uno de 32 bits (ranura local del bus) | Uno de 32 bits (ranura local del bus) | Uno de 32 bits (ranura local del bus) | Ninguno | Ninguno |
| INTERFASES ESTÁNDAR | | | | | | |
| Número de puertos seriales | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Número de puertos paralelos para impresora | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Resolución del adaptador de video | SVGA/1024x768 | SVGA/1280x1024 | SVGA/1280x1024 | SVGA/1280x1024 | SVGA/1024x768 | SVGA/1024x768 |
| VRAM estándar (Mb) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.5 |
| Marca del adaptador de video | Western Digital | Orchid Fahrenheit | Diamond Stealth | ALR | Enbit | Orchid 1024i |
| Mouse incluido | * | * | * | * | * | * |
| Mouse serial (S) Puerto de Mouse (MP) | MP | S | S | S | S | MP |
| Puerto para juegos incluidos | * | * | * | * | * | * |
| SUMINISTRO DE ENERGÍA | | | | | | |
| Watts | 300 | 230 | 250 | 370 | 250 | 145 |
| Voltaje dual (115/230V) | * | * | * | * | * | * |
| COMPATIBILIDAD | | | | | | |
| MS-DOS 5.0 | * | * | * | * | * | * |
| Windows 3.1 | * | * | * | * | * | * |
| OS/2 | * | * | * | * | * | * |
| NetWare 386 | * | * | * | * | * | * |
| Novell certificate | * | * | * | * | * | * |
| SCSI Unit | * | * | * | * | * | * |
| MPX | * | * | * | * | * | * |
| Unidad interactiva | * | * | * | * | * | * |
| Otras salidas operativas | Microport Urea | Ninguno | AT&T Urea, Xerox, p/ARCOS | Ninguno | DO5 concurrencia | Ninguno |
| SOFTWARE INCLUIDO | | | | | | |
| MS-DOS 5.0 | * | * | * | * | * | * |
| Windows 3.1 | * | * | * | * | * | * |
| Otras | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno | UWeek |
| GARANTÍA | | | | | | |
| | 1 año en partes y mano de obra | 1 año en partes y mano de obra | 30 días o devolución de dinero, 13 meses en partes y mano de obra | 1 año en partes y mano de obra | 2 años en partes y mano de obra 1 año de servicio | 1 año en partes y mano de obra 1 año de servicio |
| Soporte técnico | * | * | * | * | * | * |
| LISTA DE PRECIOS | | | | | | |
| Configuración estándar | 3,195 de | 2,850 de | 2,080 de | 1,865 de | 3,225 de | 2,540 de |
| La unidad revisada en este artículo | 3,903 de | 2,850 de | 2,548 de | 2,856 de | 4,595 de | 3,587 de |
| Opciones para la unidad revisada | 512 Kb VRAM, monitor a color SVGA, controlador de cache IDE | Ninguno | Controlador de cache, monitor SVGA Diamond Stealth, expansión a 8 Mb en RAM, 256 Kb de cache | Expansión a 8 Mb en RAM, 210 Mb en disco duro, adaptador SVGA, mouse y Windows 3.1, gabinete tipo torre | 330-Mb en disco duro, controlador de cache SCSI, monitor a color SVGA, 256 Kb de cache, adaptador SVGA | 210-Mb en disco duro, monitor Compaq |

Fig. III.7.- Estudio Comparativo entre $\mu P80486DX$ a 33MHz de Diversos Fabricantes.

COMPUTADORAS DE ESCRITORIO 486DX A 33-MHz

Revisar con cuidado los monitores pues puede ser un elemento caro de reemplazar (* = sí, ** = no)

| CompuAdd CompuAdd 433 | CompuTrend Premio 486-33 | Dahy DC-486/33C | Dell Dell 486Q(33) | Dell, Inc. Dimension Series | Duracore Duracore | Everex Tempo M |
|---|---|--|--|--|--|--|
| 486DX/33, 486DX/25 | 486DX/33, 486DX/25 | 486DX/33 | 486DX/33, 486DX/25 | 486DX/33, 486DX/25 486DX/25/5 a 66 | 486SX/20 a 25, 486DX/33 a 50 | 486DX/33 486DX/25/5 a 66 |
| * | * | * | * | * | * | * |
| Wetek 4187 CPTI Phoenix | Wetek 4187 Comant AMR | Wetek 4187 CPTI AMR | Ninguno VLSI Phoenix | Wetek 4187 UMC AMR | Wetek 4187 UMC AMR | Wetek 4187 EG6687 AMR |
| 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 64 | 32 | 64 | 64 | 64 | 64 | 32 |
| Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno |
| 64 | 64 | 64 | 64 | 256 | 256 | 128 |
| 128 | 256 | 512 | Ninguno | 256 | 256 | 256 |
| 1.2 Mb 5 1/4" 1.44 Mb 3 1/2" | 1.2 Mb 5 1/4" 1.44 Mb 3 1/2" | 1.2 Mb 5 1/4" 1.44 Mb 3 1/2" | 1.2 Mb 5 1/4" | 1.2 Mb 5 1/4" 1.44 Mb 3 1/2" | 1.2 Mb 5 1/4" | 1.44 Mb 3 1/2" 5 1/4" |
| 200 | 212 | 212 | 84 | 210 | Varios | Varios |
| Western Digital IDE | Varios IDE | Conner CP-3200F SCSI | OverLap LPS 84AT IDE | Western Digital IDE | Varios Master IDE (SCSI op) | Varios Master IDE |
| 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 5 |
| 40Mb a 600Mb | 42Mb a 212 Mb | 200 Mb | 120Mb a 500Mb | Varios | 80 Mb a 545 Mb | 80 Mb A 245 Mb |
| CompuAdd C | Premio C | NEC 4FG C | Dell M | A/2 C | Duracore C | Everex MC9400 C |
| 1024x768 | 1024x768 | 1024x768 | 640x480 | 1024x768 | 1024x768 (sin interfaz) | 1024x768 |
| 8 | 8 | 8 | 8 / | 7 | 8 | 7 |
| Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno |
| Ninguno | Ninguno | Ninguno | Tabla de memoria | Uno para 32 Mb Tarjeta de memoria | Uno para 32 Mb | Uno para CPU |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| SVGA/1024x768 | SVGA/1200x1024 | SVGA/1024x768 | SVGA/1024x768 (sin local integrado) | SVGA/1024x768 (sin local integrado) | SVGA/1024x768 | SVGA/1200x1024 |
| CompuAdd | Paradise | ATI 8514 Ultra | Western Digital | Tsang L ET-4020 | Tsang L ET-4000 | Integrated Tsang |
| 5 | 5 | 5 | MP | 5 | 5 | 5 |
| 200 | 200 | 200 | 225 | 200 | 200 | 200 |
| * | * | * | * | * | * | * |
| * | * | * | * | * | * | * |
| * | * | * | * | * | * | * |
| * | * | * | * | * | * | * |
| * | * | * | * | * | * | * |
| Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Banyan View | Ninguno |
| * | * | * | * | * | * | * |
| Ultras | Ninguno | Ninguno | Ultras | Ninguno | Ninguno | Ninguno |
| 1 año en partes y mano de obra 1 año de servicio | 1 año en partes y mano de obra 1 año de servicio op | 1 año en partes y mano de obra 1 año de servicio | 1 año en partes y mano de obra | 1 año en partes y mano de obra 1 año de servicio | 1 año en partes y mano de obra 1 año de servicio | 1 año en partes y mano de obra |
| * | * | * | * | * | * | * |
| 2,355 de 2,875 de 4 Mb RAM, 200 Mb en disco duro, ratón a paré mouse | 1,899 de 1,899 de Ninguno | 1,799 de 3,475 de 4 Mb RAM, Tarjeta gráfica ATI, monitor NEC 4FG, disco duro de 200 Mb en disco duro, control lector SCSI | 2,199 de 3,019 de 4 Mb RAM, 250 Mb en disco duro, monitor a color SVGA dise para 1.44 Mb | 2,495 de 3,659 de 4 Mb RAM, 210 Mb en disco duro, monitor a color SVGA | 1,299 de 2,495 de 4 Mb RAM, dise para 1.44 Mb, lector 256 Mb, MS-DOS 5.0, Windows 3.1, mouse, monitor a color SVGA, 200 Mb en disco duro, 1 Mb VRAM | 1,870 de 2,499 de 4 Mb RAM, 200 Mb en disco duro, monitor a color SVGA |

Fig III B - Estudio Comparativo de pP80486 DX a 33MHz de Diversos Fabricantes (Continuación).

| COMPAÑIA MODELO | Gateway 2000 486DX/33 | Insight Distribution/Intel Insight 486-33 | Intel Computer 486 11.8 Data Master PowerMate 486/33 Cebic | Neo Tecnología 486/33 | Nortledge Computer Ergence 233 | Packard Bell PI 486DX/33 |
|---|---|--|--|---|--|--|
| CITEPS | | | | | | |
| Procesadores soportados (velocidad del chip) | 486DX/33 | 486DX/33 486DX/250 | 486DX/33 y 25, 486DX/25, 33 y 50, 486DX/250 y 50 | 486DX/33 486DX/250 y 50 | 486DX/33 y 25, 486DX/25 y 33, 486DX/25 y 50 | 486DX/33, 486DX/250 |
| Uso de cache | * | * | * | * | * | * |
| Possibilidad de actualizar el CPU | * | * | * | * | * (2/2F socket) | * |
| Soporte a coprocesador externo | Wetek 4167 | Wetek 4167 | Wetek 4167 | Ninguno | Wetek 4167 | Ninguno |
| Marca de los chips en la tarjeta madre | Intel | Intel | UMC | CP11 | CP11 | Intel |
| Marca del BIOS | Phoenix | AMI | AMI | Phoenix | Knights | Phoenix |
| MEMORIA | | | | | | |
| RAM estándar (Mb) | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| RAM máximo (Mb) | 32 | 32 | 32 | 30 | 32 | 20 |
| Número de bancos | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno |
| Cache estándar (Kb) | Ninguno | 64 | 64 | Ninguno | 64 | Ninguno |
| Cache máximo (Kb) | Ninguno | 256 | 256 | 128 | 256 | 256 |
| SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO | | | | | | |
| Configuración estándar de disco flexible | 1.2 Mb 5 1/4" | 1.2 Mb 5 1/4" | 1.2 Mb 5 1/4" | 1.2 Mb 5 1/4" | 1.2 Mb 5 1/4" | 1.2 Mb 5 1/4" |
| Otros y sus tipos | 1.44 Mb 3 1/2" | 1.44 Mb 3 1/2" | 1.44 Mb 3 1/2" | 1.44 Mb 3 1/2" | 1.44 Mb 3 1/2" | 1.44 Mb 3 1/2" |
| CONFIGURACIÓN DEL DISCO DURO | | | | | | |
| Capacidad estándar (Mb) | 200 | 213 | 120 | 120 | 240 | 130 |
| Marca y modelo | Western Digital Conair | Western Digital | Maxtor XT 1120A | Quantum Phoenix | Seagate | Seagate ST144A |
| Interfaz | IDE (2/2F op) | IDE | IDE (2/2F op) | IDE | IDE | IDE |
| Interfaz controlador de cache | * | * | * | * | * | * |
| Número de chips bytes internos y externos | 2 | 8 | 8 | 4 | 5 | 4 |
| Rango de la capacidad de disco duro disponible | 80 Mb a 1.2 Gb | 40 Mb a 4 Gb | 42 Mb a 1.2 Gb | 120 Mb y 240 Mb | 40 Mb a 1.5 Gb | 130 Mb a 400 Mb |
| MONITOR | | | | | | |
| Marca | CrystalScan | Versicon o TVM | StarView 2000 | Ninguno | Panasonic | Packard Bell |
| Color (C) Monocromático (M) | C | C | C | Ninguno | C | C |
| Resolución máxima | 1024x768 | 1024x768 | 1024x768 | Ninguno | 1024x768 | 1024x768 |
| Possibilidad de volteo dual (11560Hz-22050Hz) | * | No, Versicon, Si, TVM | * | * | * | * |
| RANURAS DE EXPANSIÓN | | | | | | |
| Número de ranuras ISA | 8 | 8 | 5 | 4 | 7 | 4 |
| Número de ranuras EISA | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno |
| Ranuras propietarias | Ninguno | Ninguno | Dis. ranuras de bus de 32 bits | Ninguno | Ninguno | Ninguno |
| INTERFASES ESTÁNDAR | | | | | | |
| Número de puertos seriales | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| Número de puertos paralelos para impresora | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Resolución del adaptador de video | SVGA/1024x768 | SVGA/1200x1024 | SVGA/1200x1024 | SVGA/1200x1024 | SVGA/1024x768 | SVGA/1024x768 |
| VIDEO estándar (Mb) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.5 |
| Marca del adaptador de video | ATI Graphics Ultra | Quantum SpeedStar | Luester local bus VGA | Tring Labs ET-4000 | STB Ergo | Dak Tech, CPT 077 |
| Mouse incluido | * | * | * | * | * | * |
| Mouse serial (S) Puerto de Mouse (MP) | S | S | S | MP | S | S |
| Puerto para juegos incluidos | * | * | * | * | * | * |
| SUMINISTRO DE ENERGIA | | | | | | |
| Watts | 200 | 250 | 200 | 180 | 220 | 150 |
| Volaje dual (11560Hz-22050Hz) | * | * | * | * | * | * |
| COMPATIBILIDAD | | | | | | |
| MS-DOS 5.0 | * | * | * | * | * | * |
| Windows 3.1 | * | * | * | * | * | * |
| OS/2 | * | * | * | * | * | * |
| NetWare 306 | * | * | * | * | * | * |
| Novell certificado | * | * | * | * | * | * |
| SCSI Ultra | * | * | * | * | * | * |
| MPX | * | * | * | * | * | * |
| Una interactivo | * | * | * | * | * | * |
| Otros sistemas operativos | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Ninguno | DI DOS 6.0 | Ninguno |
| SOFTWARE INCLUIDO | | | | | | |
| MS-DOS 5.0 | * | * | * | * | * | * |
| Windows 3.1 | * | * | * | * | * | * |
| Otros | Una de 7 aplicaciones a escoger | Ninguno | Ninguno | Ninguno | Diagnostic Utilities | Utilities, Manuals, Lotus Write, Lotus 1-2-3 for Windows |
| GARANTÍA | | | | | | |
| | 30 días o devol. de dinero, 1 año en partes y mano de obra, 50 días de gracia | 30 días o devol. de dinero, 1 año en partes y mano de obra | 30 días o devol. 2 años en partes y mano de obra de post-venta | 1 año en partes y mano de obra, 1 año de servicio | 30 días o devol. 1 año en partes y mano de obra | 1 año en partes y mano de obra, 1 año de servicio |
| Soporte técnico | * | * | * | * | * | * |
| LISTA DE PRECIOS | | | | | | |
| Configuración estándar | 2,295 ds | 1,999 ds | 1,979 ds | 2,099 ds | 1,999 | precio de OEM |
| La unidad revisada en este artículo | 2,682 ds | 2,169 ds | 2,599 ds | 3,048 ds | 2,919 | Aprox. 2,700 ds |
| Opciones para la unidad revisada | 4 Mb RAM | 4 Mb RAM monitor a color SVGA, 213 Mb en disco duro, controlador de cache en disco duro | 256 Kb cache, 4 Mb RAM, 210 Mb en disco duro, monitor a color SVGA, teclado programable, 2 Mb de cache en RAM | 2 Mb RAM | 4 Mb RAM 240 Mb en disco duro, monitor a color SVGA teclado Omnibay | 4 Mb RAM |

Fig. III.9.- Estudio Comparativo del μ P80486 DX a 33 MHz de Diversos Fabricantes (Continuación)

| Polystyl Poly 486/33MHz | ISA Corp. Kinross 486/33 | Family Corp. Family 486 | Targent Targent 4333 | TLS Star Tr-VIII 486/33 E PVA | Umag Tech USI 486/33.33 | Wyse Technology Tecvision 486/40 |
|---|---|--|--|--|---|--|
| 486/33/33 486/33/266 | 486/33/33 486/33/266 | 486/33/33 486/33/266 | 486/33/33 486/33/266 | 486/33/33 486/33/266 | 486/33/33 486/33/266 | 486/33/16, 20 y 25, 486/33/20, 25 y 33, 486/33/20 y 26 |
| * | * | * | * | * | * | * (1/2 socket) |
| WEEK 4167 OPTI AMR | WEEK 4167 Covtek AMR | Nexgen VLSI/Topex Phoenix | WEEK 4167 SAS AMR | WEEK 4167 Intel AMR | WEEK 4167 OPTI AMR | WEEK 4167 OPTI AMR |
| 4 | 8 | 4 | 4 | 8 | 4 | 4 |
| 32 | 32 | 64 | 64 | 64 | 32 | 64 |
| Nexgen | Nexgen | Nexgen | Nexgen | Nexgen | Nexgen | Nexgen |
| 64 | 64 | Nexgen | 128 | 256 | 64 | 8 |
| 256 | 256 | Nexgen | 256 | 256 | 256 | 256 |
| 1.2 Mb 5 1/4" 1.44 Mb 3 1/2" | 1.2 Mb 5 1/4" 1.44 Mb 3 1/2" | 1.44 Mb 3 1/2" | 1.2 Mb 5 1/4" | 1.2 Mb 5 1/4" 1.44 Mb 3 1/2" | 1.2 Mb 5 1/4" 1.44 Mb 3 1/2" | 1.2 Mb 5 1/4" 1.44 Mb 3 1/2" |
| 130 | 10 | Vario | 100 | 384 | 80 | 120 |
| Master XT7120A IDE (SCSI op) | Vario IDE | Vario IDE | HP 3pc2733 IDE | Master LX17135 SCSI | Conner C3208AE IDE | Chit, Mark y Sengate IDE |
| 8 | 6 | 4 | 5 | 8 | 4 | 5 |
| 130 Mb x 2.5 Gb | 40 Mb A 4 Gb | 40 Mb A 4 Gb | 100 Mb x 510 Mb | 210 Mb x 1.2 Gb | 60 Mb x 1.2 Gb | 170 Mb y 200 Mb |
| Versaric de C 1024x768 | GTN 5405A C 1024x768 | Family VGA 44) C 1024x768 | Nexgen C 1024x768 (sin interface) | MAQ Mx1401 C 1200x1024 | Axon C 1024x768 | Wyse WY 670 C 1024x768 |
| 8 | 8 | 7 | 8 | 2 | 8 | 8 |
| Nexgen | Nexgen | Nexgen | Nexgen Tarjeta de memoria para 32 Mb | 5 | Nexgen | Nexgen |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| SVGA/1024x768 | SVGA/1024x768 | SVGA/1024x768 | SVGA/1024x768 | SVGA/1200x1024 | SVGA/1024x768 | SVGA/1024x768 con local integrado |
| 1 | 1 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | 0.5 |
| Tekore | STB | Western Digital | Danwood | Danwood Spectra Plus HCCok | ATI | Wynettype 16 |
| * | * | * | * | * | * | * |
| 5 | 5 | MP | 5 | 5 | 5 | MP |
| * | * | * | * | * | * | * |
| 250 | 200 | 300 | 300 | 200 | 200 | 700 |
| * | * | * | * | * | * | * |
| * | * | * | * | * | * | * |
| * | * | * | * | * | * | * |
| * | * | * | * | * | * | * |
| Nexgen | Nexgen | Nexgen | Nexgen | Nexgen | Nexgen | USL, Una Banyan Vines |
| * | * | * | * | * | * | * |
| Nexgen | Nexgen | Nexgen | OS/2 (op) | AutoCAD Internal | Nexgen | Nexgen |
| 30 días o nivel de dinero, 1 año de servicio, 2 en partes y 5 en mano de o | 1 año en partes y mano de obra, 1 año de servicio | 1 año en partes y mano de obra | 1 año en partes y mano de obra 1 año de servicio | 2 años en partes y mano de obra 1 año de servicio | 1 año en partes y mano de obra 1 año de servicio | 1 año en partes, y mano de obra 1 año de servicio |
| 1,800 de 3,475 de 8 Mb RAM 240 Mb SCSI en disco duro, controlador de CAPI, 250 Mb en cinta de disco | 2,128 de 2,840 de 340 Mb en disco duro, monitor a color SVGA | 3,299 de 4,598 de monitor a color SVGA, 240 Mb en disco duro, expansible a 8 Mb RAM | 2,595 de 2,945 de 4 Mb RAM, 128 Kb de caché en RAM | 3,695 de 3,135 de Equipo downgrade, 210 Mb en disco duro, controlador caché, Tarjeta SVGA | 1,569 de 2,409 de 4 Mb RAM 200 Mb en disco duro | 1,700 de 2,908 de CPU expansible, 4 Mb RAM 200 Mb en disco duro, monitor a color SVGA |

Fig. III.10.- Estudio Comparativo del $\mu P80486$ DX a 33 MHz de Diversos Fabricantes. (Continuación).

CAPITULO IV

SISTEMAS EXPERTOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

IV.- Introducción.

El control automático de equipos utilizados en la industria, la escuela y el hogar es particularmente útil para tareas peligrosas, repetitivas, tediosas ó simples. A nivel Industrial se emplean máquinas que cargan, descargan, soldan, cortan ó moldean con el fin de conseguir precisión, seguridad, economía y productividad. La aplicación de computadores integrados a máquinas que realizan tareas como lo hace un ser humano, fue planteado por diversos autores.

Los Automatas Programables, son computadores integrados en máquinas. Frecuentemente, sustituyen la labor humana en tareas repetitivas específicas. Algunos dispositivos tienen incluso mecanismos antropomorfos, incluyendo algunos que reconoceríamos como brazos mecánicos, muñecas y manos. Un Automata Programable, se define como un manipulador reprogramable y multifuncional diseñado para mover materiales peligrosos, partes, herramientas ó dispositivos especiales a través de movimientos variables programados para realizar varias tareas. La capacidad de un robot es que sea programable, lo que permite utilizarlo en diversas aplicaciones.

Algunas aplicaciones de los Automatas Programables, cuentan con requisitos para los cuales, el uso de un computador digital, es el método más apropiado de control total de la célula de trabajo. Al hacer referencia a la utilización de un Servidor dedicado (generalmente un minicomputador ó un μ computador) en lugar de la computadora que se utiliza como la unidad de control del Automata Programable. En casos donde el computador es el controlador de la célula de trabajo, se debería utilizar ó en serie con un Automata Programable ó como un sustituto de éste. El computador podría efectuar diversas actividades en la Planta Industrial y así se prepararía para controlar a la célula del Automata Programable en un modo de operación denominado de tiempo compartido. De igual forma, la computadora probablemente formaría parte como un componente de una red de computadoras jerárquicas en la fábrica, conectadas en su parte final a los Automatas Programables, y/o controladores de Automatas Programables en la célula, y conectadas hacia arriba al siguiente nivel jerárquico en la Planta Industrial.

Los Automatas Programables son dispositivos especializados que se diseñan para comunicarse con el Control de Procesos Industriales. Se proporcionan con puertos de Entrada/Salida que pueden ser cableados directamente a los elementos que constituyen la Planta Industrial. Esto es una ventaja sobre el computador digital, ya que se deben realizar disposiciones especiales para comunicar el computador a los equipos del área industrial en la célula.

Sin embargo, el AP tiene ciertas limitaciones en el procesamiento y manejo de datos y lenguaje de programación que dan al computador una ventaja de aplicaciones que necesitan estas capacidades. Algunos ejemplos de los tipos de características de aplicaciones de un Automata Programable, que podrían tender a favorecer el uso de computadoras para el control de célula de trabajo incluirían las siguientes:

1.- Casos en los que existe alguna célula cuyas operaciones se deben controlar y que significan cantidades de datos que deben comunicarse entre ellos.

2.- Células en las cuales el problema de detección y recuperación de error es una parte importante en la codificación que se debe programar para la operación de la célula de trabajo.

3.- Cuando algunos productos diferentes se hacen sobre la misma línea de producción automatizada, las operaciones en las diferentes estaciones se tienen que controlar y secuenciar adecuadamente. Los computadores estarían bien adecuados a las funciones de procesamiento de datos que se requieren en este tipo de aplicación. En casos donde las líneas de producción son utilizadas para operaciones de ensamble, los diversos tamaños y estilos de las piezas componentes, se deben clasificar y adaptar al modelo particular que va a ser ensamblado en cada estación de trabajo respectiva, a lo largo de toda la línea de producción.

4.- Situaciones en las cuales se requiere un alto nivel de planeación de la producción en control de inventarios; en la operación de la célula. Otra vez, este tipo de función de procesamiento de datos podría necesitar la utilización de una computadora además de, ó como un sustituto de un Automata Programable.

Las diferencias entre los computadores digitales y los Automatas Programables, son principalmente, diferencia en aplicación, más que diferencia en tecnología y arquitectura básica. El AP puede, de hecho, considerarse como una forma especializada de computador digital con características dedicadas para el control de Entrada/Salida de elementos industriales. Las tecnologías de los dos tipos de control son bastante similares.

IV.2.- Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos.

La Inteligencia Artificial es la solución de problemas complejos con el apoyo del computador digital, mediante la aplicación de procesos que son análogos al proceso de razonamiento humano.

Sólo unos pocos acontecimientos que han ocurrido ó ocurrirán en el último cuarto de este siglo tendrán un efecto tan profundo y duradero sobre la vida humana, como lo es la creación de Máquinas Inteligentes. El uso de computadoras y Automatas Programables Inteligentes y autónomos provocará un cambio fundamental en nuestra sociedad. Para entender su importancia es conveniente que se lleguen a entender dos ideas fundamentales. Lo primero es que prácticamente todos los usos y aplicaciones de las computadoras digitales y de la automatización, en general a la industria; están estrechamente relacionados con los principios básicos en que se fundó la Revolución Industrial. Más específicamente, el uso de los computadores y de la Automatización ha reemplazado a aquellos trabajadores que desempeñaban actividades poco cualificadas y

repetitivas. El segundo punto a tener en cuenta es que el uso de una Automatización Inteligente, desembocará una segunda Revolución Industrial. No obstante, en esta Revolución, los trabajadores que serán reemplazados por las máquinas pertenecerán a un nivel medio, donde entrarían todos aquellos trabajos que exigen la toma de decisiones automatizadas (pero, quizá, ninguna inventiva).

Hasta hace poco, muchos usuarios, han observado el campo de la Inteligencia Artificial (IA); como el lado oscuro de la ciencia informática; creían que, al igual que el Doctor Frankenstein de Mary Shelley, intentaba crear la vida; los programadores de IA trabajaban para crear pensamiento. Los investigadores en Inteligencia Artificial fueron, a veces, paradójicamente considerados como la élite y los "fanáticos" de la ciencia informática. Cuidadosos de no referenciar a IA, o incluso por su clasificación de programadores empleados, cuando se les forzaba a dar una visión de la viabilidad o realidad práctica de una máquina inteligente, normalmente solían argumentar que "aún quedaban muchas investigaciones por hacer", y que "en un futuro próximo habrá importantes descubrimientos, pero por el momento, lo alcanzado no es aún mencionable". ¡ La imagen de la Inteligencia Artificial ha cambiado de una vez por todas !

Es difícil proporcionar una fecha real del comienzo de lo que normalmente se denomina Inteligencia Artificial (IA). Los primeros computadores eran en realidad, máquinas que tenían que ser literalmente renovadas en su totalidad, para resolver problemas diferentes. El almacenamiento de programas permitió a la computadora cambiarse rápida y fácilmente con sólo ejecutar un nuevo programa. Esta capacidad implica que una computadora podría ser capaz de cambiar su propia función, es decir, aprender ó pensar!

El campo de la IA, requiere de varias áreas de estudio. De ellas se enlistan las más importantes y son:

- 1.- Búsqueda (de soluciones).
- 2.- Sistemas Expertos.
- 3.- Procesamiento en Lenguaje Natural.
- 4.- Reconocimiento de Modelos.
- 5.- Robótica.
- 6.- Aprendizaje de las Máquinas.
- 7.- Lógica.
- 8.- Incertidumbre y "Lógica Difusa".

Algunas de las áreas representan aplicaciones finales, tales como los Sistemas Expertos; otras como el procesamiento del Lenguaje Natural y la Búsqueda de Soluciones, son bloques de la IA que se añaden a otros programas para llevar a cabo su realización.

Cuando se hace referencia a la IA, el término búsqueda se refiere a la Búsqueda de Soluciones a un problema. (No implica encontrar una información específica dentro de una base de datos). Los Sistemas Expertos, son el primer producto de la IA viable comercialmente. Un SE tiene dos características especiales y principales. Primero, le permite introducir información sobre un tema en una computadora. A esta información se le suele llamar base de conocimiento. En segundo lugar, le permite interrogar a esta base de conocimiento y luego actúa como si fuese un experto en la materia, que es en definitiva la razón de su nombre.

Para algunos investigadores en IA, el procesamiento del Lenguaje Natural (conocido como PLN), es uno de los fines principales que la IA debe alcanzar porque permite a la computadora la entrada del lenguaje humano de forma directa. El único obstáculo para lograr este objetivo es el tamaño y la complejidad de los lenguajes humanos. Además tenemos el problema de que la computadora sea consciente de la información contextual que pueda aparecer en cualquier situación que no sea de las más simples.

El reconocimiento y relación de modelos, es importante para varias aplicaciones, incluidas la Robótica y el Procesamiento de Imágenes. Por ejemplo, cuando se dá una imagen de TV digitalizada, ¿cómo puede determinar la computadora dónde termina un objeto y empieza otro, ó si un objeto está sobre otro?

Al igual que el procesamiento del Lenguaje Natural, el reconocimiento y relación de modelos es necesario para que una computadora se interrelacione con el mundo humano.

Aplicado a los Automatas Programables, la IA ayuda a que una computadora controle el movimiento usando un razonamiento especial. Para los Automatas Programables Industriales como los que se utilizan en el ensamblaje de automóviles, los problemas para la IA aparecen al tratar de suministrarles un movimiento natural ó preciso dentro de un conjunto de posiciones concretas. Los Robots autónomos tienen mayores problemas para desenvolverse en un mundo humano; con sus obstáculos, sucesos inesperados y cambios de ambiente.

Una de las áreas más importantes de la IA es la del aprendizaje mecánico. Esta área trata de hacer que los programas "aprendan" de sus propios errores, en base a la observación y a la autoevaluación. El aprendizaje mecánico significa simplemente hacer que la computadora sea capaz de beneficiarse de su propia experiencia. De los muchos productos de la IA de importancia práctica, están los que pueden usarse para estudiar la corrección lógica de un argumento aplicando unas reglas lógicas generales. En este contexto, la palabra "argumento" se refiere a las distintas afirmaciones conectadas de manera lógica para alcanzar un fin. Esto incluye análisis matemático, lógica formal y lógica silogística ó filosófica. La mayoría de las decisiones que se toman, están basadas en un conocimiento incorrecto.

Por ejemplo; cuando se compra una casa, no se sabe que todas las cañerías funcionen correctamente, etc. La decisión de comprar se basa en la suposición de que hay una cierta probabilidad ó posibilidad de que todo se encuentre en perfectas condiciones.

El que una computadora pueda "pensar" de la misma manera que un ser humano implica el uso de la lógica incierta (es decir, la toma de decisiones basadas en una información incompleta ó probable).

A continuación se enlistan los principios fundamentales en que se basa la IA, y éstos son:

Principio 1.0.- Las técnicas de la IA intentan en forma explícita, trasladar el proceso de razonamiento hacia el programa.

Principio 1.1.- Un Sistema Experto (SE), se dedica a un problema de un área específica. No se intenta enfocar las capacidades humanas en todas las áreas.

Principio 1.2.- Habitualmente se espera de una persona un desempeño aceptable, pero no se le exige una solución óptima en todos los casos.

Principio 1.3.- Un SE busca una solución satisfactoria, tal que sea lo suficientemente buena para hacer el trabajo, aunque no sea la óptima.

Principio 1.4.- El nivel de exactitud y precisión que exige una solución satisfactoria se dictamina por el dominio del problema.

Uno de los más importantes acontecimientos que ocurrió en la IA sucedió en los años sesenta, pero pasó virtualmente desapercibido en los Estados Unidos de América; hasta la década de los ochenta. Este fue la creación del PROLOG en 1972, obra de Alain Colmerauer en Marseille, Francia. Al igual que LISP, PROLOG era un lenguaje diseñado para ayudar a resolver problemas relativos a la IA; al contrario de LISP, poseía un gran número de características especiales, como son una base de datos incorporada y una sintaxis, bastante simple. En esencia, hacia 1980, el LISP era el lenguaje de la IA elegido en los Estados Unidos de América, mientras que PROLOG tenía el mismo estatus en Europa. Sin embargo, en 1981, esta situación cambió tras el anuncio de los japoneses de que usarían PROLOG como base de sus computadoras de la " Quinta Generación ", una de la de mayor oferta.

Lo que hace a PROLOG importante en la historia de la IA, es el hecho de que reuniera un conocimiento más profundo del proceso de pensamiento de lo que lo hacía el LISP. Por ejemplo, PROLOG contiene la posibilidad de una base de datos incorporada y rutinas de retroseguimiento, siendo ambas necesarias en muchas situaciones en resolución de problemas. Aunque PROLOG ha ido ganando popularidad en los Estados Unidos de América desde 1981, aún no está claro si se convertirá en el primer lenguaje de investigación de IA en EUA.

Actualmente, el énfasis en el campo de la IA pasa de la investigación a la aplicación. Este cambio significa que las técnicas de IA desarrolladas en el laboratorio usando un lenguaje de investigación, necesitarán hacerse efectivas usando diversos lenguajes de ámbito general para resolver aplicaciones reales.

IV.3.- ¿ Pueden las Computadoras Pensar ?

Antes de que pueda explorar el ámbito de la IA a través de su programación, debe entender lo que significa para una computadora el hecho de pensar. El concepto de una computadora pensante implica que una computadora está ejecutando un programa pensante. Para esta discusión y en vistas a mantenernos compatibles con términos tradicionales, se hablará de programa pensante como un programa inteligente. Sin embargo, hay una gran discusión acerca de si los programas son inteligentes o no, y consecuentemente, si las computadoras pensantes existen. No es fácil de entablar este debate, ya que todo depende de la forma en que se interprete la definición de "inteligencia". Hay argumentos convincentes (y algunos veces emocionales), que apoyan cada punto de vista. Una pregunta que surge en este debate es cómo un programa inteligente se diferencia de uno " no - inteligente ". Este apartado explora varios de estos argumentos, sin embargo, queda a cada persona decidir su propia concepción.

Determinar lo que se considera como programa inteligente implica conocer el significado de inteligencia. Se define el término " inteligencia ", como la capacidad de comprender hechos y proposiciones, sus relaciones y razonamientos. Esta definición nos lleva a una pregunta: *¿Qué significa razonar?* En este contexto, significa " pensar ". Hace mucho tiempo se consideraba que la gente no podía explicar " cómo " pensaba, pero podía decir " lo que pensaba ". El hecho es que la gente realmente no puede entender cómo piensa. (Si lo hiciera, no sería pues tan difícil hacer que una computadora pensase).

Si se mantuviera una interpretación estricta de la definición de inteligencia, podría argumentar que " todos " los programas son inteligentes. Considérese lo siguiente: La primera parte de la definición de inteligencia es la capacidad de comprender los hechos, las propuestas y sus relaciones. Las computadoras están increíblemente bien diseñadas para llevar a cabo estos tipos de trabajos. Por ejemplo, una base de datos relacional puede almacenar (comprender) información, aceptar preguntas (proposiciones), y como su nombre implica, representar relaciones.

Ciertamente, algunos tipos de información, tales como las imágenes visuales, son mucho más difícil de comprender para una computadora que cualquier otro, pero la definición de inteligencia no exige que la comprensión se lleve a cabo de una manera determinada (sólo exige que la comprensión tenga lugar). Por tanto, lo que una computadora hace normalmente (unir, almacenar y acceder a la información), satisface la primera exigencia de la inteligencia. Sin embargo, *¿ puede la base de datos "razonar" estos hechos? (¿que es la segunda exigencia de la inteligencia?)*. Quizá la respuesta depende de lo que alguien considere como definición correcta de " razonar ". Si la manipulación de la información de la base de datos (el acto de buscar, clasificar, procesar las preguntas, archivar, etc.) puede ser llamado " razonamiento ", entonces cualquiera puede afirmar que la base de datos es un programa inteligente. Esto implica que la mayoría de los programas de computadoras son inteligentes. Recuerde que precisamente la mayor parte de los programas de computadoras manipulan la información de una manera lógica y razonable. Por tanto, esta forma de razonamiento debe ser clasificada como inteligencia.

Para mucha gente, esta conclusión es difícil de aceptar. Implica que virtualmente todos los programas pertenecen al campo de la Inteligencia Artificial (una implicación que no se ajusta a la verdad). Su intuición y experiencia en ejemplos específicos de programas basados en IA le dicen que hay una diferencia. Pero, ¿ cuál es ? Si intenta justificar su incapacidad para aceptar que una base de datos relacional es un programa pensante, se podría decir que no puede serlo porque se cree que lo que el programa de base de datos hace, no es similar al concepto de pensamiento humano. Sin embargo, el lector se encuentra entonces con el hecho de que " exactamente la misma labor " realizada por un empleado de archivos, exige obviamente inteligencia por parte de dicho empleado. He aquí la paradoja: Si el programa de base de datos lleva a cabo esta labor, entonces no está pensando; aunque, si una persona realizara esta función se diría que piensa. Este problema surge debido a nuestro propio orgullo. Como ser humano, preferiría pensar que es su cerebro lo que le hace especial, es decir, que el género humano tiene el monopolio del pensamiento cognitivo. Puedo quizá, admitir que los mamíferos superiores pueden pensar e incluso razonar, a niveles muy elementales, pero los humanos van más allá. Sin embargo, que una simple máquina pueda pensar, a cualquier nivel, es una idea incómoda. Tanto es así que, cuando algún brillante programador crea un programa inteligente, la tendencia general es decir, " bueno, no es realmente inteligente.

Es sólo que actúa de forma inteligente ". No decir esto, sería admitir que se ha perdido el monopolio humano sobre el pensamiento. Hay otra forma de ver el problema. Uno podría decir que un perro bien amaestrado es inteligente si le trae a su dueño el periódico del jardín. Alguien incluso diría, que su hijo de un año es bastante inteligente si puede hacer lo mismo. Aunque en realidad no es tan difícil construir un robot controlado por computadora que fuera capaz de realizar la misma función. Sin embargo, la mayoría de la gente no se inclinaría a decir que el robot era inteligente por el simple hecho de que pudiera traerles el periódico de la mañana. La razón para este prejuicio estriba en que la mayoría de la gente diría que un robot que trae el periódico es simplemente una máquina que ejecuta un programa creado por un programador, y que el robot no " piensa " cuando realiza esta tarea, sino que simplemente la " hace ".

El ejemplo del robot y el periódico también suscita un problema diferente que lleva de vuelta al hecho de que las personas no saben cómo piensan. Debido a que el programa para traer el periódico del jardín es fácil de comprender, la tendencia es a decir que el programa no puede ser inteligente " porque " se puede entender. A esto es a lo que suele llamarse principio mágico: A nivel emocional, la mayoría de la gente considera que el proceso del pensamiento es algo mágico. Debido a que la gran mayoría no entiende los procesos del pensamiento, incorrectamente se asume que cualquier mecanismo construido y dominado por el hombre no puede ser inteligente, puesto que su inteligencia es , en definitiva, la de aquel que la construyó. Esencialmente, creen que la creación es siempre inferior a su creador.

Además, existe la cuestión fundamental de la libre voluntad. A través de la historia, el pensamiento ha estado siempre relacionado con el concepto de libre voluntad: Sólo un ente con la " voluntad de pensar " puede pensar. Descartes, el famoso filósofo del siglo XVII, proclamó que el pensamiento probaba su propia existencia cuando escribió la famosa afirmación filosófica " pienso, luego existo ". Lo que hace a este concepto problemático es que, en el ejemplo del robot y el periódico, parece que tanto el niño como el perro eligen traer el periódico (como algo opuesto a hacer cualquier otra cosa); pero debido a que el robot " está programado " para hacer esto (verdaderamente, debe traer el periódico, porque es su programa) no puede hacer otra cosa. Sin embargo, ¿ puede una

computadora "elegir" alguna vez algo? No hay duda de que esta pregunta será una de las cuestiones fundamentales tanto filosóficas, como legales en el siglo XXI.

Esta pregunta puede rápidamente polarizar a un gran número de programadores. Hay muchos programadores que piensan con firmeza que "una máquina es una máquina". Una computadora no puede tener libre voluntad porque no tiene mente, sólo circuitos. Por tanto, es imposible que una computadora pueda elegir hacer algo y, más específicamente, pensar. Este es un argumento bastante convincente. Sin embargo, otros programadores que sostienen posturas opuestas pueden ser más persuasivos. Imagine que una computadora está controlando el peso de una carga de ladrillos sobre un camión. Cuando el peso de la carga sobre el camión alcanza un cierto punto, la computadora cierra el paso de ladrillos. ¿Decidió la computadora para el proceso de carga? ¡Sí! La computadora controlaba de forma clara la situación y "decidió" parar cuando el peso alcanzó un nivel específico. Si la computadora no hizo la elección, entonces ¿quién la hizo? Los defensores de este argumento afirman que la capacidad de la computadora para llevar a cabo una labor condicionada demuestra su habilidad para tomar decisiones.

¿Es una computadora capaz de pensar? Como han demostrado los ejemplos que se acaban de analizar, hay opiniones fuertemente contrastadas. Lo más convincente es decir que el debate aún continúa. Sin embargo, es posible que el lector ya se haya formado su propia opinión. En este momento, mucha gente está convencida de que es imposible determinar si una computadora puede o no pensar, y si un programa puede ser inteligente. Pero ciertos casos muestran claramente que alguien puede hacer que una computadora siga un comportamiento similar al de una persona. La clave es que algunos programas "parecen" claramente inteligentes (y, en verdad, son la base de la IA). Las dificultades mostradas en el párrafo anterior, están en realidad, relacionadas con el error en la apreciación del concepto "inteligencia". Lo que las definiciones del diccionario olvidan, es el hecho de que el término "inteligencia" implica inteligencia humana. Esta asociación implícita hace difícil admitir la posibilidad de que una máquina puedan pensar o que un programa de computadora pueda ser inteligente por el hecho de que la mayoría de los programas no realizan la misma labor, igual que lo hace una persona.

Por otra parte, cuando esta implicación desaparece, es fácil decir que los programas inteligentes no existen. Si se entiende esta diferencia, la definición de un programa inteligente aparece instantáneamente. Para que un programa sea inteligente se requiere que "actúe" inteligentemente, esto es, que debería actuar como un ser humano.

Sus procesos de pensamiento no tienen por qué ser siempre iguales a los de cualquier persona. Por tanto, aquí hay una definición de programa inteligente:

** Un programa inteligente es aquel que muestra un comportamiento similar al de un humano que se enfrenta a un mismo problema. No es necesario que el programa resuelva, o intente resolver, el problema de la misma forma que lo haría un humano *. De hecho, el programa no tiene por qué pensar como un ser humano, aunque parezca pensar como tal. (Después de todo, hay personas que no piensan siempre de la misma manera). Por tanto, se puede concluir diciendo, que un programa inteligente en cierto modo muestra un comportamiento inteligente cuasi-humano, mientras que los programas no inteligentes no lo hacen.*

IV.4.- La Vida y el Pensamiento, Formas Particulares de Existencia de la Materia.

Si se analiza atentamente la manera en que A. Oparin construyó su artículo "La Vida", se advierte con facilidad que las propiedades esenciales de la vida, consideradas como forma particular de organización de la materia, tal y como son descritas en el artículo, admiten la formulación de que dicha abstracción de la Naturaleza concreta de los procesos físicos (y sobre todo químicos) elementales que constituyen su fundamento:

1.- Ningún organismo vivo, ni existe cuando deja de pasar por su interior en forma incesante el torrente de nuevas partículas de sustancias con la energía que lo son propias. La sustancia que penetra en el organismo sufre profundas transformaciones y adquiere parecida estructura a la de la sustancia de que se constituía anteriormente el cuerpo vivo. Lo específico de la materia vida es que las transformaciones de esas sustancias están en cierto modo organizadas en el tiempo, se encuentran coordinadas entre ellas en un sistema coherente y, en conjunto, tienden a la autorenovación y a la constante autoconservación de todo organismo vivo.

2.- Un estudio profundo ha llevado a la conclusión de que tal orden no obedece a causas externas, independientes del cuerpo vivo (como afirman los idealistas); por lo contrario, hoy se sabe que la velocidad, la orientación y correlación de los diferentes procesos que se desarrollan en el organismo, ó sea todo lo que constituye el orden en cuestión está enteramente determinado por las relaciones que se crean en el cuerpo vivo, en su unidad con las condiciones del medio exterior.

3.- La más evidente de las otras propiedades elementales de los cuerpos vivos es la capacidad de autoreproducción que les es peculiar. La autoreproducción de los organismos no se limita a la multiplicación de las estructuras más simples que los forman. Esas estructuras más simples pueden formarse de nuevo en el organismo. La sucesión de los procesos que constituye la base de esta nueva formación no depende de cualquier factor único, sino que refleja a toda organización del cuerpo vivo en su interacción con el medio exterior.

4.- La excitabilidad, como forma particular de relación del organismo con las condiciones del medio exterior es inherente a todo lo que vive, incluidos los seres vivientes más primitivos.

5.- Junto al crecimiento, la excitabilidad y otras manifestaciones de la vida, la aptitud para multiplicarse es una de las propiedades esenciales de los cuerpos vivos.

6.- El perfeccionamiento de la organización material de la vida consiste en la diferenciación cada vez mayor de las partes de los cuerpos vivos y en la individualización de esas partes en grupos ó órganos con funciones diferentes.

7.- En la herencia se encuentra fijada la experiencia de la historia de las generaciones anteriores. La herencia y la variación forman parte de esas particularidades de la vida, de importancia decisiva para el desarrollo ulterior del mundo orgánico.

Esta serie de afirmaciones de A. Oparin pueden servir de sólida base para la definición de la vida, abstracción hecha de la Naturaleza concreta de los procesos físicos elementales, cuya organización específica permite calificar de fenómenos de la vida su

desarrollo de sistema coherente. En la experiencia de la historia de las anteriores generaciones, en la excitabilidad, etc., la cibernética (en específico, los Sistemas Expertos y la Inteligencia Artificial), reconoce fácilmente las formas biológicas concretas de manifestación de las nociones generales, la acumulación y la conservación de la información, de la realimentación, etc.

En realidad, de momento sólo se conoce el mundo de seres vivos que puebla la Tierra, mundo que tiene una historia común en cuanto a su origen y evolución y, por grandiosas que sean sus proporciones, es un fenómeno singular que se desarrolla, y se desarrolla en un lugar concreto y en un lapso determinado. Hace todavía algunos años que, en el fondo parecía bastante inútil la pregunta de saber si la palabra "Vida" es nombre peculiar a este nuestro Mundo (unido por historia común) de los seres vivos terrestres, ó si bien designa una noción general que se refiere a ilimitado número de sistemas de seres vivos, aparecidos y desarrollados de forma independiente en condiciones completamente diferentes.

Es importante recalcar que A. Oparin, al articular su trabajo, demostró mucha sabiduría en el curso de su exposición al no llevar hasta sus últimas consecuencias la tesis general de que la vida es la forma particular del movimiento de la materia, que aparece en una etapa determinada de su evolución histórica, representada en nuestro planeta por inmenso número de diferentes sistemas individuales, los organismos. Respecto a la vida que existe efectivamente en la Tierra, A. Oparin tiene absoluta razón al precisar que los últimos conocimientos de la Biología han confirmado brillantemente la tesis de Engels que caracteriza a los cuerpos albuminoides como sostén material de la vida.

El poner de relieve la unidad de bases físico-químicas comunes a la estructura a la estructura de los seres vivos terrestres y la unidad de la historia del mundo orgánico realmente desarrollado en la Tierra, ha jugado gran papel progresivo en el avance de la Biología. Baste recordar que en una época, aún no muy lejana, era preciso rechazar las primitivas concepciones relativas a la "Generación espontánea" de los seres vivos, a partir de la materia inerte, sin pasar por la historia tan compleja de la evolución orgánica. Por esta razón, y hasta hace poco, las definiciones sobre la vida consistían realmente en la descripción recogida de los principales rasgos de la única forma de vida conocida por los científicos.

Y en lo referente a la noción pensamiento, ocurría lo mismo hasta tiempos recientes. De hecho, sólo se conoce el pensamiento del hombre y el pensamiento elemental concreto de los animales superiores, que es producto de la actividad del cerebro, según I. Pavlov.

Sin embargo, la situación es hoy diferente debido a dos circunstancias muy concretas. La primera es que en el siglo de la astronáutica se abre la posibilidad, de mucha importancia práctica para nosotros, de hallar nuevas formas de movimiento de la materia que posean las propiedades esenciales de los seres vivos ó pensantes. La segunda de estas circunstancias está en la aparición de las probabilidades, ilimitadas en principio, de modelación de los sistemas materiales, de organización tan compleja como se quiera, que ofrecen las calculadoras modernas. Estas dos circunstancias requieren, instantáneamente, que tanto la definición de la vida como la del pensamiento sean

desembarazadas de las arbitrarias premisas relativas a la naturaleza concreta de los procesos físicos que forman su base, que la definición sea puramente funcional.

Tal elaboración de conocimientos tan generales sobre la vida y el pensamiento es asunto del futuro, pero los grandes rasgos de los mismos aparecen bastante claramente. Sin embargo, visto desde el ángulo filosófico (muy importante además), más amplio se trata de la descripción objetiva, precisa, de las condiciones existentes en un medio material en desarrollo de acuerdo con determinadas leyes de relaciones entre causas y efectos; sin ningún propósito fijado desde el exterior a tal desarrollo y en el cual aparecen sistemas materiales de los que no es posible comprender el funcionamiento y la evolución sin recurrir a conocimientos de orden totalmente diferente, sin concebir la adecuación interna a un fin, propia de estos sistemas. El materialismo dialéctico aporta la solución de este problema en sus rasgos esenciales. Pero los clásicos del materialismo dialéctico no se han orientado a abordarlo (cosa comprensible hasta hace poco) como conjunto concreto de fenómenos a explicar, sino como el mundo de los seres vivos terrestres: La vida física de los animales superiores, el pensamiento del hombre. (Ahora llegó el momento en que es necesario representarse, ya concretamente, en su generalidad, las vías de aparición de los sistemas materiales que poseen adecuación interna a un fin sin olvidar tampoco las posibilidades que todavía no fueron observadas directamente.

Los mecanismos especiales de conservación y método de información, se producen desde las etapas iniciales del desarrollo de la vida. Al principio, el perfeccionamiento de estos mecanismos se efectúa por la " vía de la búsqueda ciega ". Es el caso, al menos, del mecanismo de elaboración de los reflejos condicionados más simples. Pero desde un estadio relativamente poco avanzado de la evolución orgánica, los mecanismos que aseguran el reflejo correcto de la organización del mundo exterior adquieren cierta autonomía, independientemente de que este reflejo sea ó no necesario, en todos sus detalles, desde el momento en cuestión, para la elaboración del comportamiento. Más tarde aparecen los mecanismos de la modelación interna del curso posible de los fenómenos en el mundo exterior y de las posibles consecuencias de tal ó cual conducta. Estos mecanismos permiten efectuar la síntesis de conjunto de actos de comportamiento complejos y adecuados a su fin, sin pasar por repetidas pruebas. Al desarrollar con perseverancia el punto de vista funcional que considera la vida y el pensamiento como modos de organización del sistema material, se llega naturalmente a conclusiones que pueden ocasionar ciertas confusiones. La realidad es que la modelación del modo de organización de un sistema material no puede consistir en nada que no sea la creación, a partir de otros elementos materiales, de un nuevo sistema que posea, en sus rasgos esenciales, la misma organización que el sistema representado. Por esta razón, un modelo suficientemente completo de ser vivo debe, en buena ley, llamarse ser vivo, y el modo de ser pensante que reúna esas condiciones, denominarse pensante.

Todos conocemos el interés que suscitan las siguientes interrogantes:

¿Son capaces las máquinas de reproducir máquinas semejantes a ellas; y en el proceso de tal auto reproducción puede darse el proceso de evolución progresiva que llegue a la creación de máquinas muchos más perfeccionadas que las máquinas iniciales?

¿ Las máquinas pueden experimentar emociones ?

¿ Es posible que las máquinas quieran algo y se marquen a sí mismas nuevas tareas no previstas para ellas por sus constructores ?

A menudo se intenta justificar la respuesta negativa a estas preguntas con la ayuda de:

a). La definición restrictiva de la noción "máquina".

b). La interpretación idealista del concepto "pensamiento", concepto con el que se demuestra fácilmente la ineptitud para pensar, no sólo de las máquinas, sino del propio hombre.

Hay una forma más tradicional y simple de plantear estas preguntas: *¿ Es posible crear seres vivos artificiales, aptos para multiplicarse, para sufrir evolución progresiva, dotados en sus formas superiores de emociones, voluntad y pensamiento, comprendidas incluso las más sutiles variantes de éste ?*

Una definición exacta de todas las nociones que figuran en nuestras formulaciones; no es en absoluto trivial. Sin embargo, a nivel del rigor de las ciencias de la Naturaleza, la definición es posible. La negación de esta probabilidad conduce inevitablemente al "solipsismo" (que es un sistema de idealismo subjetivo que afirma no existir más que el propio yo y sus representaciones; define la actitud mental y especulativa adoptada por el sujeto cuando resuelve en sí mismo toda la realidad, tanto práctica como metafísicamente).

La creación de seres vivos altamente organizados sobrepasa las posibilidades de la técnica actual. Si fueran resueltas las dificultades técnicas quedará por lo menos a discusión lo relativo a la oportunidad práctica de la realización del trabajo de programas apropiados.

Sin embargo, es importante comprender con claridad que en el marco de la concepción del mundo materialista no existe ningún argumento sustancial de principio, que niegue una contestación afirmativa a esta pregunta. La respuesta adyacente constituye la formulación moderna de las tesis relativas al origen natural de la vida y a la naturaleza material de la conciencia.

Es indudable que el método de la información y el proceso de mando en los organismos vivos están en complejo entrelazamiento:

a). De mecanismos discretos (cifrados) y de mecanismos continuos.

b). De principios de acción deterministas y de principios probabilistas.

En los organismos vivos; sin embargo, los mecanismos discretos son determinantes en los procesos de método de información y de mando. No existen argumentos sustanciales en favor de la limitación, por principio, de las posibilidades de los mecanismos discretos en relación con los continuos.

La posibilidad, por principio, de obtener seres vivos en toda su validez, contruidos totalmente con mecanismos discretos (cifrados) de método de información y de mando, no contradice los principios de la dialéctica materialista. Si suele encontrarse la opinión opuesta entre los especialistas de la filosofía y las matemáticas es, únicamente,

porque éstos están habituados a no ver la dialéctica más que ahí donde aparece lo infinito. No es la dialéctica de lo infinito lo que importa para analizar los fenómenos de la vida, sino la dialéctica de lo grande (la combinación puramente aritmética de gran número de elementos crea, a la vez, lo continuo y las nuevas cualidades).

Pese a lo que se acaba de mencionar, existe también el lado " bueno " del movimiento difundido en oposición a las pretensiones exageradas de los Sistemas Expertos y la Inteligencia Artificial (algunas aplicaciones a la cibernética). Las obras de síntesis y los trabajos particulares de la cibernética a menudo tienen como defectos reales:

a) La consideración simplista de los mecanismos de método de información y de mando en los organismos vivos, especialmente en el terreno de la actividad nerviosa superior del hombre.

b) El poco caso que se ha hecho de la experiencia acumulada en el estudio de esos mecanismos antes de la constitución de la cibernética como ciencia aparte.

Si el primero de estos defectos se corrige " sobre la marcha " (la falta de fundamento de las consideraciones simplistas aparece en el curso del trabajo), el segundo defecto se tiene que combatir sistemáticamente, en especial en el marco de la planificación de formación de los jóvenes especialistas.

En la esfera de la actividad nerviosa superior del hombre la cibernética no ha dominado más que:

a) El mecanismo de los reflejos condicionados, su forma más simple.

b) El mecanismo del pensamiento lógico formal.

Pero los reflejos condicionados existen en todos los vertebrados, y el pensamiento lógico no aparece sino en el último estadio de la evolución del hombre.

Todos los tipos de actividad sintética de la conciencia humana anteriores al pensamiento lógico formal, que sobrepasan el cuadro de los reflejos condicionados más simples, están todavía por describirse en el lenguaje de la cibernética.

El aparato del pensamiento lógico formal no ocupa el lugar central en la conciencia evolucionada del hombre moderno. Más bien es un tipo de " calculadora auxiliar " que se pone en marcha en la medida de las necesidades. Como por otra parte, los esquemas habituales de la teoría de los reflejos condicionados ofrecen muy pocos elementos para la comprensión de los estadios superiores de la vida emocional del hombre ó, de la intuición creadora del sabio, es preciso reconocer que el análisis cibernético de la conciencia humana, evolucionado en su interacción con la esfera subconsciente, no ha comenzado todavía. La mayoría de los ejemplos citados en los trabajos de cibernética que conciernen a la modelación, sobre máquinas, de procesos de creación artística asombran por su carácter primitivo, compilación de melodías, tomando como base fragmentos de cuatro ó cinco notas sacados de varias decenas de piezas conocidas, etc.

En la literatura no cibernética, el análisis formal de la creación artística alcanzó desde hace mucho tiempo un nivel muy elevado. Puede ser muy provechoso aportar a estas investigaciones las ideas de la teoría de la información y de la cibernética. Pero el avance efectivo en esta dirección exige que entre los especialistas en cibernética se manifieste una sensible elevación del interés por las humanidades y por su conocimiento. En general, esto es indispensable si se fija como objetivo comprender, a partir de las posiciones de la cibernética, la complejidad real de la vida psíquica del hombre.

Es posible que un porvenir adquiera gran alcance práctico el estudio objetivo, en términos cibernéticos, de algunas de las formas más sutiles de la actividad creadora del hombre. Por ejemplo, un problema que en especial afecta a los matemáticos: Se sabe que el lápiz y el papel son indispensables al matemático para su trabajo de investigación creadora intuitiva. A menudo, en lugar de fórmulas escritas en su totalidad, aparecen sobre el papel sus esquemas hipotéticos con lugares en blanco; líneas y puntos representan gran número de figuras en el espacio ó un número infinito de dimensiones; en ocasiones, los signos sirven para designar el estado de la discusión de variantes, agrupadas según principios, que se reorganizan en el curso del mismo exámen, etc.

Es enteramente posible que máquinas dotadas de instalación propia para introducir y obtener datos puedan ser útiles en este estadio del trabajo científico. Es natural que la elaboración del método preciso para el uso de las máquinas presupone el previo estudio objetivo del proceso de investigación creadora del sabio.

Algunas otras direcciones del estudio objetivo del mecanismo de la actividad creadora del hombre pueden también quedar con aplicaciones prácticas en un porvenir. En cambio, el estudio objetivo, serio, de la actividad nerviosa superior del hombre en toda su plenitud, se entiende como un eslabón indispensable en la afirmación del humanismo materialista. El desarrollo de la Ciencia ha conducido muchas veces al derrumbe de las ilusiones habituales del hombre, comenzando por la fe reconfortable de la inmortalidad personal. En el de estadio semi-conocimiento y semi-comprensión, esas conclusiones destructoras de la Ciencia se transforman en argumentos contra ella misma, en favor del irracionalismo y del idealismo. La teoría del origen de las especies de Darwin y el estudio objetivo de la actividad nerviosa superior de Pavlov, fueron presentadas muchas veces como factores negativos para las más altas aspiraciones del hombre en la creación de ideales de moral y estéticos. De igual forma, en nuestra época, el temor de que el hombre no sea superior en nada a los autómatas "privados de alma" se transforma en argumento psicológico en favor del vitalismo y el irracionalismo (el " argumento del avestruz ").

Hasta ahora, se ha estudiado la teoría de los autómatas discretos, construidos con gran número de elementos simples (el número de posibles estados de un elemento y el número de elementos del que depende directamente la modificación del estado de un elemento dado, quedan limitados a números muy pequeños). Los autómatas de este tipo, de número constante de elementos y de estructuras constantes de relaciones entre los elementos, son capaces de efectuar en ellos la modelación de otros autómatas de la misma naturaleza, ó de sistemas que construyen ellos mismos; es decir, de formaciones análogas capaces de modificar su estructura y de asociarse nuevos elementos. Se ha estudiado el problema de la existencia de autómatas universales de estructura constante en el marco de los cuales es posible modelar la evolución de cualquier sistema que se construya él mismo, durante tanto tiempo como el número de elementos que lo constituyen no sea superior a un número dado.

Hay razones para pensar que la actividad subconsciente del hombre para la creación de imágenes (por ejemplo, en la creación artística y científica) es parecida al trabajo de la citada máquina de calcular de acción paralela.

Parece probable que la modelación del trabajo del cerebro humano directamente ligado al desarrollo de la cultura humana, comprendiendo ahí todas las partes que constituyen ese trabajo, desde los hábitos elementales del mismo hasta la creación artística y científica, exige el manejo de cantidades relativamente modestas de información, no del orden de 10^{10} a 10^{15} bits, como muchas veces se supone al basarse en la evaluación de la complejidad de la organización del cerebro.

Sino del orden 10^7 a 10^8 bits. Si esto es exacto, la principal dificultad no reside en la fabricación del suficiente número de células capaces de contener toda la información necesaria, sino en la originalidad del programa que haya de poner en acción al modelo automático.

Es poco alentador lo que sobre este último punto sugiere la teoría de los autómatas. Es conocida la posibilidad de plantear a un autómata discreto problemas cuya formulación es muy simple, pero cuyo problema de solución en un plazo prácticamente aceptable es, notoriamente, muy complejo. En tales casos, el programa complejo que resuelve rápidamente el problema se puede obtener con ayuda de un cálculo automático, para la organización del cual es suficiente introducir en un autómata sumamente poderoso, un programa muy simple.

IV.5.- Los Modelos de los Procesos Vitales y la Fisiología del Cerebro.

Gran número de especialistas de las más diversas disciplinas, se ocupan de las apasionantes preguntas que plantean los Sistemas Expertos y la Inteligencia Artificial en relación con el problema de la naturaleza de la vida. Al considerar en su conjunto la situación consecutiva al desarrollo de los Sistemas Expertos y la Inteligencia Artificial; sus pretensiones y la reacción de aquellos para quienes las mismas no ofrecerían afortunados resultados en lo porvenir, se quiere hacer observar que la causa principal de todas las divergencias reside en la falta de organización de las propias discusiones.

Ninguna discusión resulta fructífera sino a partir del momento en que queda evidente para todos la claridad del planteamiento del problema, la claridad de los criterios y conceptos base del debate. Entonces es cuando la fuerza de los argumentos de los participantes se hace comprensible y adquiere validez. Desgraciadamente, el debate sobre el papel de los Sistemas Expertos y la Inteligencia Artificial en la Ciencia y en la Vida se ha llevado, desde el principio, bien por la de una reacción excesiva a tal enfoque. En realidad, los científicos se encuentran en la situación de quién debe comenzar de nuevo; es decir, han de partir de esquemas lógicos y criterios básicos que proporcionen un sólido punto de apoyo materialista al objeto de obtener solución a la difícil, pero extraordinaria pregunta. Se debe señalar lo sumamente conocido de ciertas ideas que penetran entre los jóvenes investigadores y bajo cuya influencia éstos pierden la perspectiva de su trabajo científico personal. Esto se puede percibir entre los jóvenes fisiólogos.

De pronto deja de interesarnos el estudio de la célula nerviosa. ⁴ ¿ Para qué sirve eso si pronto se podrá construir con elementos semiconductores ? Desafortunadamente tal estado de ánimo se extiende entre la juventud, y precisamente en la neurocibernética, es donde más ha encontrado cabida.

Es conveniente ahora, atender a ciertos problemas de carácter filosófico, muy importantes, que han sido ya planteados en los órganos fisiológicos de actualidad. ¿ De qué se trata ? Si alguien intenta crear modelos mecánicos de lo vivo donde obran elementos de adecuación y adaptación a un fin, se considera que, en el fondo se sitúa, de algún modo, en la categoría de los mecanicistas.

Y por el contrario, los cibernéticos, los físicos y los matemáticos piensan muy sinceramente que quienquiera se oponga a esto (y poco importa que tales posiciones de partida sean razonables ó conservadoras) es un vitalista, profesa la fe vitalista en el carácter indescomponible de la vida, en la imposibilidad de explicar sus principales motores fundamentales, etc.

Tal exacerbación de juicios trasladados a nuestros medios son tan inoportunos como injustificados, porque todos comprenden lo que es el materialismo dialéctico y conocen perfectamente los más importantes fundamentos del desarrollo de la ciencia y del pensamiento a partir de las tesis de aquél. Se piensa que esta exacerbación radica simplemente en que ambas partes no encontraron las Normas básicas para la discusión. En efecto, habitualmente se plantea la siguiente pregunta. ¿ Puede la máquina llegar a ser más inteligente que el hombre ? Pero la lógica elemental de la discusión científica exige que en primer lugar se defina el concepto de " inteligencia " y de " más inteligente ". ¿ Qué parámetro es el de " ser más inteligente " ; cómo poder definirlo con precisión para que sirva de instrumento de comparación ?

Nadie lo definió, ni lo ha definido, pero todos los científicos lo discuten. Por supuesto, de esto se desprende la discusión desorganizada sobre problema tan importante: esta falta de organización conduce a la confusión y, por lo tanto, a convertir las respuestas en profesiones de fe: Unos creen que es posible y los otros no. Es muy difícil llamar a esto una forma científica de abordar un problema de tal importancia. Por consiguiente, se trata, en primer lugar, de definir los conceptos de inteligencia y de " más inteligente ". Así por ejemplo, si se definiera la inteligencia conforme a las Normas de rapidez en el desplazamiento, cualquier motocicleta sería más inteligente que cualquier humano adulto. Si se quiere hacer una comparación se escoge un parámetro, pero es absolutamente imposible resolver por comparación lo que es ó no " más inteligente ", tomando una sola facultad, un único parámetro en toda la actividad multiforme del hombre. Se puede admitir por ejemplo, que se elige de parámetro la " combinación de jugadas en el ajedrez ". Es una gran realización el construir una máquina capaz " de por sí ", y a partir de la valoración de la situación que se presente en el tablero, de hacer jugadas que puedan ser más inteligentes que los movimientos que pudiera hacer un jugador humano.

Es posible admitir que esto es plenamente realizable. Más el trabajo de comparación no se detiene en este parámetro. Este no es sino uno entre millones de parámetros de la actividad de la inteligencia humana, llevado hasta la perfección gracias al hombre y gracias a las máquinas.

El que se puedan llevar diferentes parámetros ó caracteres de la inteligencia humana (del trabajo del cerebro) hasta una perfección superior a la del propio ingenio, constituye inmenso éxito. Ahí radica, precisamente, el aspecto progresivo de los Sistemas Expertos y de la Inteligencia Artificial.

Pero cuando comienza a hablarse de sí, la máquina puede ser ó no " más inteligente " que el hombre, se hace preciso plantear la pregunta de modo más concreto: *¿ Puede la máquina efectuar operaciones más diversas que el hombre y efectuarlas mejor, pasando de una operación a otra ?* Así se debe poner el acento, no en tal ó cuál aptitud, sino en su interacción, en el paso de una a la otra.

¿ Qué es la inteligencia, desde nuestro punto de vista ? Para los fisiólogos, la particularidad del trabajo del cerebro consiste, justamente, en su aptitud para pasar con increíble rapidez, en función de la rápida síntesis de la situación existente en un momento dado, de la actividad que concluye, por efectos definidos, a otra. Este cambio de actividad descansa en el hecho de que el cerebro cuenta con posibilidades prácticamente ilimitadas de formación de nuevas combinaciones. Es un órgano creado de tal forma en el curso de la evolución, que siempre se ha desarrollado adelantándose a los acontecimientos presentes en la realidad. Esta es una propiedad muy interesante del cerebro. Se podría tomar un hombre que hubiera vivido hace 3 000 años, que desconociera toda nuestra civilización y, después de un entrenamiento adecuado, hacer de él un matemático tan capaz como no importa qué matemático de hoy. Existen ejemplos parecidos.

Un explorador de la zona septentrional de América del Sur residió algún tiempo en una tribu Caribe y a su regreso trajo consigo algunos niños nativos. Los padres de estos niños no sabían contar sino hasta dos y cuando se les pedía contar hasta tres, se dormían. Pero en la escuela, esos muchachos demostraron aptitudes superiores a los de los niños Europeos. Para los fisiólogos del cerebro, no hay en eso nada de sensacional. Se sabe que las posibilidades del cerebro en sus ligazones moleculares son ilimitadas. A menudo se dice: El cerebro tiene 14 mil millones de células.

Esto maravilla al gran público. Efectivamente, son muchas células, pero no tiene nada de milagroso. Lo más importante es que esos 14 mil millones de células están construidas de tal suerte que cada una de ellas tiene sobre su membrana mil contactos con otras células. Y, es más, todos esos mil contactos pueden todavía reflejar mil reacciones químicas diferentes. Ahora es posible imaginarse qué cantidad de posibles operaciones es capaz de plasmar el cerebro al chocar con las condiciones exteriores, con el medio ambiente. *¿ De qué se trata cuando se compara al hombre y a la máquina ?* De sus actividades y relaciones recíprocas. Esto es lo que más importa al fisiólogo del cerebro.

Siempre que se intenta comparar la máquina al hombre, la actividad de la máquina y la actividad del cerebro; es necesario hablar de actividad, definir la cualidad y la forma final de la actividad dada. Si se aborda la pregunta desde esta perspectiva, se ve que en un minuto el humano realiza centenares y más de actividades; por lo general, las distintas actividades, bien definidas, son mucho más numerosas que las células. Si se construyese la máquina que realizara aunque no fuese más que dos actividades distintas y que " por sí " pasara de una a la otra, se tendría el punto de partida que permitiera iniciar la comparación entre las posibilidades de la máquina y la actividad del hombre.

Como se ha mencionado más arriba, el hombre puede crear máquinas más perfeccionadas para este ó aquel parámetro del cerebro humano y de su actividad.

En la esfera de toda la Ciencia se plantea una pregunta sumamente interesante, tanto en el terreno filosófico como en el de la Ciencia concreta, analítica. Se toma como ejemplo, la categoría de cualidad, como categoría del materialismo dialéctico. ¿ Se suprime ó no la cualidad con la tentativa de presentar la aproximación mecánica del proceso vivo? La respuesta es no. La cualidad, como categoría definida a través del salto en el movimiento de la materia, sigue siendo una categoría filosófica. Pero se ha entrado en la época del desarrollo de la Ciencia donde la cualidad debe interpretarse por los parámetros de las ciencias exactas, matemáticas y físicas. Si se habla del denominador común al que los Sistemas Expertos y la Inteligencia Artificial reducen todos los fenómenos; es decir, la difusión de la información, la transformación de la información con su código y sus parámetros matemáticamente fundados, también se puede aproximar la cualidad a este punto de vista.

Si alguien dice que la cualidad no puede ser estudiada más profundamente ni ser más escrupulosamente caracterizada, es inexacto. Como muy bien se ha señalado, si se cuenta con una nueva cualidad en el desarrollo de la materia, esta cualidad nueva puede y debe expresarse con todos los conceptos que forman parte de la teoría de la información, con la comprensión de los parámetros, de las magnificencias físico-matemáticas, etc. Pero esta aproximación no suprime la particularidad cualitativa, simplemente le da una interpretación concreta.

Si se emprende una discusión en esta dirección, no estará fundada. Ciertamente, es necesario precisar la posición de cada persona, precisar lo que se piensa de los parámetros, de la información, cuando se produce el paso cualitativo de una forma del movimiento de la materia a otra. Pero esto no constituye una línea divisoria ideológica como mucha gente piensa. He aquí la penúltima pregunta: La adecuación al fin. Para los fisiólogos, especialmente los fisiólogos del cerebro, la adecuación al fin es algo que ven continuamente, en todo momento, y pueden comprender los errores que han hecho de tal adecuación al fin la base del desarrollo de las concepciones vitalistas, donde aparece en escena la " fuerza vital " rigiendo esa adecuación. En el presente, en numerosos dominios de la fisiología, ha sido descifrada tal adecuación y para los especialistas se ha convertido en un proceso tan material como los otros, en los que las causas y las consecuencias son absolutamente estudiados y objetivamente conocidos en todos los casos. Por esto, la adecuación, tal como se le entiende, no corresponde ya, en su esencia, a la noción formulada originalmente.

A partir del momento en que la vida aparece sobre el Planeta, debido a las diferentes transformaciones de la materia mineral, aparecen, naturalmente, Normas para conocer la verdad de todo lo que actúa sobre lo vivo. Respecto a la acción exterior, la materia no podía tener criterio de adecuación ó de inadecuación. Con la aparición de la vida surge el siguiente criterio de la acción exterior: ¿ La conserva ó la destruye? Precisamente por esta razón se puede considerar adecuado lo que estabiliza la vida, lo que fija la constancia de sus formas conseguidas ya en la evolución y conservadas por la selección natural. Volviendo al cerebro, se puede decir que ha acomodado estas formas de correlación en un aparato especial, el que no es menos material que todos los procesos que se desarrollan en una probeta. También se ven los límites de este proceso y sobre el particular se debe estar convencido de la posibilidad de principio de reproducir los diferentes mecanismos y las distintas aptitudes del cerebro.

Este es uno de los puntos de desacuerdo con los especialistas de los Sistemas Expertos y la Inteligencia Artificial. No quieren ver (en parte porque no existe suficiente información mutua), los factores que el cerebro ha acumulado en él a lo largo de la historia; esa previsión del porvenir, la facultad de adelantarse al presente en su acción de adaptación del organismo a los acontecimientos futuros.

Tómese por ejemplo, nuestra vida diaria: El objetivo de la acción, los designios, la intención con la que comenzamos el día y con la que damos término a nuestra jornada. Cada uno de nuestros pasos está señalado por una sucesión de fines, grandes ó pequeños, y tales fines son fijados cada segundo. *¿ Qué es un fin ?* Es siempre un salto a lo largo de las estructuras del cerebro, a lo largo de las trabazones, a lo largo de sus sistemas, un salto hacia el porvenir. Es la constitución de procesos para los que todavía no existen acontecimientos exteriores, sino que pueden corresponder a futuros acontecimientos externos. Tal cosa se produce porque el hombre tiene la experiencia pasada, porque yo tengo una memoria, " reservas " de las cuales tomo la posibilidad de predecir el porvenir, etc. Todos estos procesos son absolutamente materiales.

A veces, en el curso de conversaciones con matemáticos y físicos suele escucharse en respuesta a esto, la siguiente objeción irónica: " Así, no es realizable una máquina que se fije de por sí sus propios fines ". Habitualmente la respuesta es: Tal cosa podría ser realizable, si se tuvieran los materiales y mecanismos concretos que permitan construir tal máquina.

Existen máquinas que se fijan un fin, pero en este caso el objetivo del debate es diferente. Estas máquinas modifican su actividad en los límites de la construcción que les han sido impuestos. Otra cosa sería, por ejemplo; si una máquina para fabricar cartuchos, harta de hacerlo, se pusiera a fabricar calzado. Por supuesto que este es un ejemplo grotesco; pero la realidad es que nosotros los humanos, nos comportamos así continuamente, en todo momento. Un hombre quería ir al teatro, más como llueve renuncia a hacerlo y va a ver a sus amigos, etc. El hombre cambia de actividad; en cada instante se fija un fin en función de la síntesis pertinente que realiza su cerebro en una situación dada.

Ciertamente, si se creara la máquina que sintetizara de la misma manera la situación ambiente y efectuara cada vez actos nuevos, sometiéndolos a los intereses de su " vida ", de su " cuerpo " de su " salud ", tendríamos la base para comparar la máquina y el cerebro. Lo que caracteriza al cerebro es precisamente el cambio de actividades, pero todavía no se ha tenido oportunidad de ver una máquina que haga sucederse actividades cualitativamente diferentes conforme al modo de ordenar en un momento dado la situación exterior.

En este sentido la máquina más " inteligente " es la más " estúpida " que un bebé arrastrándose por el suelo. Y cuando preguntamos si el hombre es más inteligente ó no que la máquina, es habitual y precisamente eso lo que pensamos. *¿ Puede el hombre por sus propios órganos visuales aventajar al microscopio ?* Seguro que no, por lo que resulta indiscutible que en este aspecto la máquina dada es " más inteligente " que el hombre. Pero el hombre se adapta a millones de situaciones que surgen de improviso. Son millones de situaciones que acompañan al hombre durante toda su vida y con relación a ellas el hombre realiza su objetivo vital. He aquí lo que debe ser objeto de comparaciones, el contenido que es preciso dar a la expresión " más inteligente ".

He aquí el Índice según el cual debemos comparar la máquina y el hombre, pero, desgraciadamente, todavía no existen comparaciones suficientemente razonable y científicamente fundadas.

En fin, la última pregunta: *¿ Qué aporta la Inteligencia Artificial y los Sistemas Expertos al fisiólogo del cerebro, y qué da el fisiólogo del cerebro a la Inteligencia Artificial ?* Es indudable que los fisiólogos del cerebro, se han enriquecido y se continúan enriqueciendo con muchas cosas gracias a los métodos y sobre todo a las formas de pensamiento utilizadas por los científicos, los matemáticos y los físicos.

Pavlov descubrió leyes capitales del funcionamiento del cerebro; pero jamás se ocupó de la química y ni siquiera le gustaba. En una ocasión se le propuso a Pavlov estudiar la composición química de la sangre en la fase del efecto activo del bromo sobre el sistema nervioso, y él dijo: "No veo ahí nada de interés; dejemos de ocuparnos de eso". Sin embargo, descubrió leyes de la vida del cerebro tan importantes como la predicción del porvenir, el dominio de hecho, sobre el porvenir.

Las matemáticas, y especialmente la Inteligencia Artificial y los Sistemas Expertos, ofrecen la posibilidad de elaborar ciertos modelos y esquemas que permiten comprender el mecanismo interno de esta predicción del porvenir, la manera de dirigirse estos organismos internos a la síntesis y comprender la organización del trabajo del cerebro en su conjunto. El progreso del trabajo de los fisiólogos del cerebro consistirá, justamente, en utilizar esa asombrosa máquina que es el cerebro, con su organización económica y segura para las construcciones y modelos actuales de desarrollo fisiológico. En cuanto al hecho de que el cerebro trabaja económicamente se puede demostrar con no importa qué hecho, y éstos forman legiones.

Cuando se piensa que bastan 5 células nerviosas de nuestro cerebro, que difícilmente se perciben en el microscopio, para hacernos sentir sed, descender a un pozo, ir al río, acarrear el agua, y todo esto para beber, para satisfacer a esas células excitadas. La sensación de sed está formada precisamente por esas cinco células, porque genéticamente están dotadas de una fina sensibilidad a la presión osmótica, que permanece a un mismo nivel durante toda la vida. A cierto grado de modificación de la presión osmótica de la sangre, esas células se ponen a difundir la excitación de alarma por todas las direcciones del órgano cerebral creando la sensación de sed.

IV.6.- *¿ Es Posible Crear Artificialmente la Vida ?*

Con la aparición de los Sistemas Expertos y la Inteligencia Artificial, capaces de realizar complejos procesos dirigidos a fines determinados, la pregunta de la creación artificial de la materia viva ha cobrado suma actualidad. En la medida en que el organismo vive es un sistema dinámico que realiza funciones complejas orientadas a fines dados, puede considerarse que la máquina cibernética que cumpla, al menos, una de esas funciones, forma parte de lo vivo en un orden inferior. Más el paso del Sistema Experto del orden inferior al superior no tiene, en principio, límites, si se entiende que este sistema puede cumplir funciones cada vez más numerosas y complejas. Realmente, el Sistema Experto es capaz de verificar procesos de las más diversa complejidad con la única

condición de que el resultado a obtener sea expresado en el lenguaje simbólico de los algoritmos introducidos en la máquina en forma de un programa definido. De esto se deduce que, desde el punto de vista de los Sistemas Expertos y la Inteligencia Artificial, la única diferencia entre el organismo vivo y el Sistema Experto que haga las mismas funciones que aquél, reside, en último término, en lo histórico de su creación, y no en la diferencia de principio entre las leyes físicas que rigen a ambos.

Así pues, la Inteligencia Artificial y los Sistemas Expertos, están en su derecho de afirmar que, desde el punto de vista de principios, es posible la creación artificial de la materia viva. En este sentido, estima que el Sistema Experto establecido especialmente para cumplir funciones biológicas las realiza exactamente como lo hace el organismo vivo y que, por lo tanto, en lo que respecta al cumplimiento de determinadas funciones biológicas no hay ninguna distinción entre la materia viva y el Sistema Experto creado a partir del diseño de un automatismo, que a su vez es fruto de la materia mineral. Las funciones realizadas por una máquina pueden ser de la mayor diversidad y relacionarse tanto con el comportamiento fisiológico de un organismo animal vivo como con la actividad intelectual del hombre.

Considérese ahora, la afirmación opuesta, la que se podría llamar "anti-inteligencia artificial". Es imposible crear la materia viva resultante de la facultad de una máquina cibernética idéntica en el plan funcional porque, por principio, el metabolismo biológico, no puede reproducirse con ayuda de la materia mineral.

Cuando en el estadio actual de las Ciencias Naturales se plantea el problema de la creación artificial de lo vivo, es preciso considerar que las dos afirmaciones no pueden ser simultáneamente válidas y que, en consecuencia y desde el punto de vista filosófico general ambas, necesariamente, entrañan tesis teóricas que se excluyen mutuamente. Sin embargo, la contradicción lógica entre las afirmaciones cibernéticas y anticibernéticas desaparece si se admite que la materia viva, dotada de metabolismo biológico, no se puede crear por ningún medio artificial originado en la materia mineral, pero que las diversas funciones del organismo vivo, que son "funciones derivadas" del metabolismo biológico, pueden imitarse por los sistemas cibernéticos de forma tan precisa como se desee. Si esta aseveración, que corresponde, a la vez, a las dos afirmaciones; cibernética y anticibernética, es exacta, resulta que existe una diferencia física de principio entre la función fundamental de la materia viva (el metabolismo biológico), y todas las demás funciones llamadas convencionalmente, "funciones derivadas", que juegan un papel en el metabolismo del organismo.

La esencia termodinámica de esta diferencia física entre la función fundamental del organismo vivo y todas sus demás funciones, suponiendo que la diferencia exista realmente, consistiría en esto: Las funciones del organismo vivo susceptibles de ser ejecutadas a semejanza con precisión ilimitada, por los Sistemas Expertos; son procesos de trabajo que no contradicen el Segundo Principio de la Termodinámica (que establece el hecho de que los procesos siguen una cierta dirección, pero no la dirección opuesta; ya que el calor jamás fluirá del medio frío al medio caliente). Estas funciones pueden ser reproducidas con todo grado de precisión por dispositivos automáticos; por Robots, es decir, por Sistemas Cibernéticos. Pero en cuanto al metabolismo biológico; es decir, a esta función específica del organismo vivo que es la base de sus múltiples funciones, representa un proceso de trabajo original, exclusivamente propio de la materia viva y está en contradicción con el Segundo principio de la Termodinámica.

Como tal, este proceso no puede tener ningún modelo material. Por consiguiente, existe la negativa Termodinámica que se opone a la realización del modelo material ó a la reproducción material de la función fundamental de la materia viva: El metabolismo biológico. A continuación se trata de demostrar en qué consiste la esencia física de esta negativa Termodinámica.

Por complejo que sea el comportamiento de un organismo vivo, todas las funciones observables de que ese comportamiento se compone pueden representarse por procesos de trabajo susceptibles, por principio, de ser imitados por Sistemas Cibernéticos; incluso se comprueba cierta superioridad de estos últimos. Es manifiesto que la máquina cibernética que realiza determinada función compleja del organismo trabaja durante más tiempo y es más veloz que el organismo vivo. Esa superioridad funcional de la máquina cibernética sobre el organismo se explica, en parte, porque el organismo cumple constantemente gran número de diversas funciones recíprocamente relacionadas, mientras que la máquina cibernética, construida con fines concretos, está libre de funciones "accesorias". La ventaja de la máquina se ha hecho más evidente al establecer, en el terreno teórico, que podía crearse un Sistema Cibernético, transformador universal de la información que llegara a la máquina en forma de signos convenientes.

Los rasgos particulares del Sistema Cibernético (la aptitud para simular cualquier función biológica compleja con carácter de proceso de trabajo "externo", y la superioridad sobre el organismo de la máquina cibernética, susceptible de repetir gran número de veces y cumplir muy rápidamente una función dada), han llevado a la afirmación de que, la actividad del organismo equivaldría al funcionamiento de un mecanismo sometido, en todas sus partes, a las mismas leyes físicas y químicas de toda máquina. Sin embargo, entre el organismo vivo y la máquina existe una diferencia fundamental, que aparece cuando se estudia el vínculo entre la estructura y la función de ambos sistemas. La máquina puede permanecer en reposo sin perder su estructura, al menos durante un tiempo similar a la duración de sus ciclos de trabajo. La estructura de la máquina es estable a su temperatura de funcionamiento; también lo es cuando la máquina está parada. Por el contrario, el organismo vivo debe funcionar permanentemente, y sí, por cualquier razón, cesa de cumplir sus funciones a la temperatura habitual a su actividad vital pierde irreversiblemente su estructura y acaba por perecer. Como la pérdida de su estructura por el organismo que cese de funcionar está ligada a la fluctuación térmica de las sustancias en la temperatura en que se cumple su actividad vital, el mantenimiento de la estructura del organismo en actividad debe ser relacionado con ciertos procesos de la materia viva que se oponen a la fluctuación; sin hablar de los demás procesos de trabajo del organismo activo.

Los procesos externos de trabajo y los procesos "antifluctuación" de mantenimiento de la estructura, portadores del contenido informativo del organismo vivo, se conjugan en el seno del mismo y se desarrollan en un sólo y mismo tiempo y en cierto intervalo (breve) de temperatura correspondiente a la actividad vital. El cese del proceso "antifluctuación" a la temperatura de actividad vital del organismo es fatal y conduce a la abolición de la estructura del sistema vivo ó a la pérdida irreversible de su contenido informativo. No obstante, existen dos procedimientos experimentales que permiten interrumpir el proceso "antifluctuación" del organismo vivo sin que ello entrañe la pérdida irreversible de su estructura; es decir, la pérdida del contenido informativo del organismo vivo.

En primer lugar, la inmovilización por el frío del agua intracelular (por enfriamiento del organismo hasta una temperatura netamente inferior a la que corresponde a su actividad vital). En segundo lugar, la eliminación del agua contenida en las células (por evaporación del agua del organismo a la misma temperatura de su actividad vital).

A continuación, se verá más a detalle estos dos procedimientos de conservación del contenido informativo del organismo vivo cuando existe cese de su actividad interna "antiflucción". Cuando se enfría con precaución un organismo vivo hasta alcanzar una temperatura claramente inferior a la de su actividad vital, se llega, en numerosos casos a conservar su estructura al producirse el cese simultáneo de los procesos metabólicos. A temperatura suficientemente baja, la velocidad de las reacciones químicas del metabolismo es prácticamente nula, y el sistema vivo interrumpe su formación metabólica conservando no obstante la especificidad de su estructura. Si tal sistema, enfriado pero conservando su estructura, se calienta hasta el punto de temperatura de su metabolismo normal, puede recobrar la vida.

En los animales y vegetales primitivos, es posible lograr el mismo efecto de conservación de la estructura con el cese simultáneo del metabolismo, mediante el método de deshidratación. Cuando se elimina con precaución el agua del sistema vivo, pasa al estado de anabiosis, se detienen los procesos metabólicos. Si ese sistema, deshidratado, pero no transformado en cuanto a su estructura, se rehidrata, los procesos metabólicos se reestablecen.

Estas experiencias permitieron descubrir dos propiedades fundamentales distintivas de los sistemas vivos:

Primera, que la estructura de la célula es termolábil (es decir, es un compuesto térmico fácil de transformar en otro más estable), a la temperatura correspondiente de su actividad vital.

Segunda, que todos los demás componentes de la célula viva (ácidos nucleicos, etc.) que con el agua constituyen la estructura del sistema vivo, son portadores de información; y, en ausencia del agua, son termoestables a la temperatura del metabolismo.

La conclusión que se desprende de estas dos propiedades del sistema vivo, no cerrado desde el punto de vista termodinámico, es paradójica desde el ángulo de la Termodinámica de los sistemas-máquinas no cerrados. La paradoja es la siguiente: El sistema vivo no cerrado desde el punto de vista termodinámico, constituye una máquina química original que, a partir de la información contenida en su estructura, funciona con estabilidad contra su destrucción térmica.

En el sistema vivo se desarrollan dos procesos antagonistas, que son la base del metabolismo: La edificación de la estructura termolábil y su descomposición a la temperatura de la vida. Las nociones fisiológicas de asimilación y desasimilación, de anabolismo y de catabolismo, de síntesis y de descomposición de las sustancias, reciben así la siguiente interpretación termodinámica: Los procesos de asimilación representan

procesos de edificación de la estructura termolábil del sistema vivo, y los procesos de desasimilación lo son de destrucción térmica de la estructura a la temperatura de la vida.

Bajo la acción del calor a la temperatura de la vida, la estructura del sistema vivo se destruye invariablemente y, al mismo tiempo, los procesos de trabajo " interno " que se verifican en el sistema vivo reedifican de nuevo, sin cesar, la estructura termolábil del sistema. Se llega a la conclusión de que en la base de la vida, el metabolismo, se encuentran procesos dirigidos a dominar el caos térmico, y que nacen en el seno del sistema vivo a la temperatura de la vida. Estos procesos son antientrópicos y contradicen el Segundo Principio de la Termodinámica.

La creación de un modelo material del sistema vivo se revela, pues, imposible, porque la función esencial del modelo del sistema vivo debe consistir en la edificación de una estructura que sea termolábil a la temperatura de edificación de esta misma estructura. Los procesos de trabajo internos " antiflucción " no pueden ser reproducidos ó modelados materialmente. Se pueden crear modelos de procesos biológicos que, de hecho son procesos de trabajo externos. Estos procesos pueden cumplirse por mecanismos que posean estructura termoestable a su temperatura de funcionamiento. En otros términos: Es imposible construir una máquina que funcione a temperatura en que las sustancias que componen la máquina son termolábiles y sufran cambios de fase que les hace pasar de un estado de agregación a otro. Por ejemplo; líquido → gas, sólido → líquido.

Se pueden clasificar entre los procesos biológicos susceptibles de recibir un modelo material los procesos metabólicos " derivados ", las funciones de los diversos órganos y del organismo en su conjunto en caso de que quepa describir con precisión estas funciones en forma de procesos de trabajo externos; por ejemplo, bajo la forma de trabajo osmótico, mecánico ó eléctrico, de síntesis químicas, etc. Todos estos fenómenos pueden ser simulados materialmente si son descritos, reducidos a un algoritmo, y si este algoritmo es programado e introducido en la máquina. Sin embargo, no se puede introducir en la máquina un programa dirigido contra su propia destrucción térmica cuando el funcionamiento de la máquina se desarrolla precisamente a temperatura que engendre su destrucción térmica. En efecto, el portador material del programa está igualmente sometido a la destrucción térmica. Cuando, partiendo del obstáculo termodinámico referente a la imposibilidad de construir una máquina que funcione a su temperatura de fusión, se concluye " que existen propiedades de la máquina viva imposibles a simular ", tal cosa no constituye de ninguna manera una concesión al idealismo, como piensan algunos científicos.

Es suficiente considerar que no se habla aquí de modelos teóricos, sino de modelos materiales; es decir, de la reproducción de la propiedad fundamental de la materia viva, de su actividad " antiflucción " ó de la edificación de una estructura termolábil. El sistema vivo contiene la información estructural que dirige el curso de los procesos de trabajo que se oponen a la destrucción térmica de su propia estructura, que es portadora de la información misma.

Desde el punto de vista de la Termodinámica, en esto reside la esencia de la materia viva, lo que la distingue de la materia mineral. El sistema vivo está compuesto de dos tipos de sustancias netamente diferentes según la Termodinámica:

1 - Los otros componentes que aparte del agua constituyen cerca del 20% de la célula viva, que son portadores de información, y termoinestables, en ausencia del agua, a la temperatura de la actividad vital del organismo.

2 - El agua intracelular, más esencial de la célula viva, que no lleva ninguna información y que, con los otros componentes del sistema vivo, constituye la estructura termolábil del sistema vivo a su temperatura de actividad vital.

De esto se puede concluir que el agua intracelular se encuentra en una especie de estado termolábil, casi cristalino, que recuerda al hielo, estado que se ve sometido a la destrucción térmica de la célula en proceso de metabolismo y que, sin cesar, renace como consecuencia de la constante renovación de esos procesos metabólicos. El agua intracelular está, pues, en continuo estado de cambios de fase: Pasa del estado termolábil ordenado, casi cristalino, al de la fase térmicamente estable de agua-disolvente, y viceversa.

Bajo el efecto de destrucción del movimiento térmico, el agua pasa al estado de probabilidad termodinámica máxima correspondiente a la estructura del agua líquida, y como resultado de los procesos de trabajo organizado del metabolismo pasa al estado de fase ordenada inestable dotada de estructura casi cristalina. Estos cambios de fase, ó pulsaciones, del agua intracelular forman probablemente la función dinámica esencial del metabolismo y todas las demás funciones especializadas de la célula viva se derivan de esa misma función esencial. En efecto, la llegada a la célula (por vía de difusión del medio ambiente), de las sustancias que la proveen de energía química no puede hacerse sino en el agua-disolvente intracelular, y el rechazo activo de las sustancias-desecho de la célula hacia el medio ambiente no es posible sino cuando se produce el cambio de fase que lleva al agua al estado ordenado, casi cristalino. Así, las pulsaciones que permiten pasar al agua de la fase casi cristalina a la líquida, y viceversa, aseguran el intercambio de energía y de sustancia entre el sistema vivo y el medio ambiente.

El agua intracelular asegura con sus cambios de fase la movilidad específica de la materia viva, base de todas las funciones normales del organismo susceptibles de ser simuladas. Los incesantes cambios de fase del agua intracelular representan la forma de movimiento de la materia viva que no se puede reproducir realmente a partir de la materia mineral, a los que se puede considerar, desde el punto de vista filosófico, como la forma biológica del movimiento de la materia.

Partiendo del precedente análisis, se puede formular como sigue el Principio termodinámico de existencia de la materia viva: La materia viva representa un sistema dinámico que funciona a la temperatura de destrucción térmica de su estructura. Es imposible crear a partir de la materia mineral un sistema dinámico que funcione a la temperatura de fusión de su estructura. Se puede formular la siguiente negativa termodinámica: No puede crearse una máquina cuya función sea crear su propia estructura, si ésta es termolábil durante la duración de la actividad de la propia máquina. Así es, pues en toda máquina "no viva", todas sus partes, toda su acción, están sometidas a las leyes físicas de la materia "no viva".

El Principio Termodinámico de existencia de la materia viva es un principio autónomo, que indica que la física de la materia viva presenta un carácter autónomo y que la materia viva no puede aparecer a partir de la materia mineral tal y como nosotros la conocemos. Se ha llegado así a dos preguntas cardinales:

1.- ¿ Puede crearse artificialmente la materia viva ?

2.- ¿ Cómo ha aparecido, históricamente, la materia viva ?

La primera pregunta parece que en la actualidad no obtiene una respuesta definitiva. Pero supóngase, que a partir de la materia mineral se consiguen crear todos los componentes además del agua de la célula viva, es decir, las biomacromoléculas albuminoideas, los ácidos nucleicos, etc., en otras palabras, todos los componentes portadores de información del sistema vivo. Entonces, la creación de tal célula consistirá en asociar a todos los componentes de información, siguiendo un plan determinado, con el constituyente esencial de la célula viva: El agua.

Como el agua intracelular se encuentra en estado termolábil (negentrópico) casi cristalina, los componentes de la célula viva no pueden asociarse sino en dos diferentes condiciones: A una temperatura extremadamente baja, en presencia de agua " congelada " (ordenada, pero termoestable), ó a la temperatura de actividad vital, pero sin agua; es decir, en estado anhidro. En el primer caso, el establecimiento del metabolismo biológico exige que el sistema sea calentado hasta la temperatura de su actividad vital; en el segundo, es indispensable " hidratar " el sistema.

Teóricamente son realizables estas dos condiciones. Pero, en el terreno experimental, existen probablemente dificultades de principio insuperables. Según toda verosimilitud, es imposible " edificar una estructura de componentes macromoleculares " en presencia de agua cristalizada; ó sea, a baja temperatura, cuando los componentes macromoleculares están inmóviles; y, quizás también imposible " edificar una estructura de componentes macromoleculares " en ausencia de agua; es decir, a la temperatura vital de la célula, pero en seco, cuando los componentes macromoleculares están, igualmente, inmóviles.

Se tratará ahora la segunda pregunta cardinal: ¿ De qué manera la materia viva ha aparecido como realidad material si existe la negativa termodinámica que se opono a la aparición de la materia viva a partir de la materia mineral tal y como existe actualmente ? El análisis conduce a reconocer el carácter histórico tanto de la materia viva como de la materia mineral. En todo momento, el mundo ha sido material. Es interesante anotar que la edad de la materia viva es del mismo orden que el del Universo en su fase actual, que es una fase de expansión. Se encuentran índices de biósfera en los sedimentos de la corteza terrestre que se remontan a más de 2 000 000 000 años. Las raíces de la vida son probablemente todavía mucho más antiguas. Se estima que en un período distante 5 a 10 mil millones de años, el Universo se encontraba en un estado de "caos inicial" y las leyes físicas de esa época eran defraudadas por el estado del mundo material de entonces.

Hace varios miles de millones de años se modificaron las condiciones de existencia del Universo, entrando éste en expansión. Es el período inicial en que se

constituye el planeta Tierra, en el que la vida nace en su superficie, verosíblemente como fase termodinámica que aparece súbitamente, cuando la modificación repentina de las condiciones físicas corresponde a la existencia de un estado de fase dado.

La aparición de la materia viva se presenta, pues, como la aparición simultánea de todo el conjunto de seres vivos primarios en condiciones adecuadas a su existencia, y no como la aparición de uno ó varios seres vivos luego de ilimitada multiplicación. Desde el punto de vista geológico y geoquímico, no se trata de la síntesis de un organismo particular, sino de la aparición de la biósfera.

El mundo de la materia viva y el mundo de la materia mineral tal y como se lo conoce actualmente tienen pues, aproximadamente, la misma edad. De 2 a 4 mil millones de años. De esto se puede concluir que hace más de 4 mil millones de años, cuando el Universo entró en su fase actual de desarrollo (fase de expansión), cierta protomateria "A" dió nacimiento, casi simultáneamente, a dos sustancias materiales "B" y "C"; la materia viva y la materia mineral; cada una de las cuales se desarrolla según sus propias leyes.

En lo referente a los *Sistemas Expertos*, se puede mencionar lo siguiente:

Los *Sistemas Expertos (SE)*, se emplean para ejecutar una variedad muy complicada de tareas, que en el pasado solamente podían llevarse a cabo por un número limitado de personas expertas intensamente entrenadas.

Un *Sistema Experto (SE)*, es una aplicación informática que soluciona problemas complicados que de otra manera exigirían ampliamente la pericia humana. Para lograr esto, se simula el proceso de razonamiento humano mediante la aplicación específica de conocimientos e inferencias.

Internamente, un *SE* ideal se puede caracterizar como un sistema que comprende:

- Amplio conocimiento específico a partir del campo de interés.
- Aplicación de técnicas de búsqueda.
- Soporte para análisis heurístico.
- Habilidad para inferir nuevos conocimientos a partir de conocimientos ya existentes.
- Procesamiento de símbolos.
- Capacidad para explicar su propio razonamiento.

Los principios básicos en los que se basan los *SE* se enumeran a continuación:

Principio 1.0.- La potencia de un experto se debe más al conocimiento amplio del área específica que a la comprensión del desempeño genérico de un experto.

Principio 1.1.- La selección del esquema de representación del conocimiento es una de las decisiones más críticas en el diseño de un SE.

Principio 1.2.- El proceso de buscar los conocimientos apropiados y a partir de éstos deducir nuevos conocimientos, constituye un elemento clave del procesamiento de un sistema experto.

Principio 1.3.- La selección del paradigma de inferencia considerando la explosión combinatoria, influye fuertemente en el desempeño global de un SE.

Principio 1.4.- En un SE ideal, el motor de inferencia nunca debería necesitar de modificaciones.

Principio 1.5.- La credibilidad que se le concede a un SE depende de la habilidad del SE para explicar su propio proceso de razonamiento.

En menos de cinco años, la Inteligencia Artificial ha pasado de ser un pequeño aspecto de la ciencia informática a ser quizás la aportación más importante a la informática desde el transistor. Este rápido cambio se basa en cuatro factores fundamentales: El éxito de los Sistemas Expertos, que fueron los primeros productos de la Inteligencia Artificial de auténtico impacto comercial; el bien conocido compromiso de los japoneses con la Inteligencia Artificial; la lenta pero firme integración de las técnicas de Inteligencia Artificial en las aplicaciones existentes y, finalmente, el hecho de que ha llegado la hora de la Inteligencia Artificial.

CAPITULO V

APLICACIONES A LA BIOINGENIERIA

V.1.- Introducción.

De acuerdo con el Informe Spinks de 1980, la Biotecnología (la cual contiene a la Bioingeniería), se define como la utilización de organismos vivos, ó bien sistemas ó procesos biológicos para la producción industrial, la Bioingeniería ó su empleo en los servicios de saneamiento. Desde un principio la Biotecnología fue considerada como creadora de nuevas industrias con bajas demandas energéticas. Ello se debe a que el crecimiento de microorganismos representa una fuente de energía renovable que disminuye la dependencia con respecto a los escasos y costosos depósitos fósiles existentes, ó bien de los productos químicos de ellos derivados. Los microorganismos tienen diversos usos entre ellos se incluye la producción de compuestos químicos, tales como el etanol por fermentación, la producción de cerveza mediante levaduras, la producción de enzimas, la producción de alimentos (proteína de organismos unicelulares) ó para pruebas en organismos vivos como es en la fabricación de medicamentos, y en los sistemas de circuitos integrados neurológicos. Por ejemplo; si un órgano falla, se coloca otro que lo reemplaza y ¡ listo !

Es decir, dentro de los implantes neurológicos (la aplicación de la Bioingeniería); en pocos años se podrán resolver los siguientes problemas:

- 1.- Los tetrapléjicos podrán caminar con bastones.
- 2.- Una retina artificial que " vea " como la de verdad.
- 3.- Los sordos podrán oír y no vivir en el mundo del silencio.
- 4.- Los diabéticos sustituirán la jeringuilla por una minibomba.
- 5.- Una unidad UVI móvil contra el ataque cardíaco.
- 6.- Tener un corazón artificial para toda la vida.
- 7.- Descargas eléctricas contra la epilepsia.
- 8.- Un marcapaso sexual.
- 9.- Vivir sin dolor, el sueño de muchos enfermos crónicos.

Como se puede apreciar, los implantes que salvan vidas, ya no son quimeras; sino una realidad cada vez más cercana. En los albores del siglo XXI, el hombre ayudado por la Bioingeniería (denominado Hombre Biónico), está aquí. Este término designa hoy, más ampliamente que en los primeros años, todas las integraciones de sistemas inteligentes en el cuerpo humano. La génesis de estas investigaciones está íntimamente ligada a la explosión de la tecnología.

Así, los investigadores pueden suplir ciertas deficiencias gracias a estos mecanismos. El pionero fue el médico Estadounidense Paul M. Zoll que en el año de 1952 implantó el primer marcapasos a un hombre de 72 años, un pequeño generador eléctrico capaz de regular el ritmo cardíaco de los pacientes con problemas del corazón. Lo que antes eran milagros hoy son verdades como puños. El sordo oye con un oído artificial, el diabético recibe su dosis de insulina mediante una minibomba implantada y el cardíaco vive (casi normalmente) gracias a un órgano artificial. En poco tiempo los parapléjicos andarán y los impotentes se beneficiarán de un marcapasos sexual que les permitirá regular la actividad normal de su pene.

La electrónica dá la mano a la medicina, se ha aliado con ella y ha inventado implantes que podrán parar el Mal de Parkinson ó la epilepsia. También permitirá una administración precisa de los medicamentos, colocando minibombas en alguna parte del cuerpo que proporcionarán (según un estricto programa elaborado por el equipo médico) las dosis adecuadas para cada paciente, lo que evitará muchas veces los efectos secundarios. Esta programación suministrará los medicamentos en el momento más preciso, cuando sean más efectivos; ya que nuestro organismo no reacciona de la misma manera durante todas las horas. Este mismo año (1996); por ejemplo, se ha conseguido implantar brazos que no sólo sienten la presión, sino que también notan el calor y el frío. La tecnología avanza tan rápidamente que se habla de técnicas nuevas cada poco tiempo. Algunos investigadores proponen métodos no invasivos; es decir, los fundados no en la implantación de elementos, sino en cuidados a distancia aplicados por apoyos de una nueva clase, las microondas.

El desarrollo de nuevos materiales permitirá la aparición de nuevos órganos artificiales, como por ejemplo falsos músculos realizados con materiales retóctiles ó órganos híbridos compuestos; a la vez, por células vivas y circuitos integrados electrónicos. Un nuevo horizonte aparece con estas investigaciones: Se habla de la microtecnología, pero también de la nanotecnología. Pronto será posible enviar sondas inteligentes a la sangre capaces de medir el espesor de las paredes vasculares mediante ultrasonidos y de practicar operaciones. El factor constante en todos estos avances es el hombre, que investiga estos procesos y, a la vez, se beneficia de ellos. Actualmente, la Bioingeniería es, más que una esperanza, una realidad.

Podría suceder quizás en unos años; que parte de los miles de enfermos parapléjicos y tetrapléjicos que viven en el mundo (un número grande de accidentados; por ejemplo, se ve obligado a utilizar silla de ruedas), podrían beneficiarse de las investigaciones que se están realizando para que, ayudados por bastones, vuelvan a caminar. Los que padecen esta enfermedad están afectados por una lesión en la médula espinal. Una de las soluciones; la más prometedora, es reactivar los músculos situados cerca de la lesión con una corriente eléctrica. El problema es que este método requiere poner los electrodos en cada utilización.

La respuesta va más allá: implantar, en el interior del cuerpo, una caja electrónica capaz de enviar a los músculos la corriente de estimulación, ya sea por electrodos situados alrededor de los nervios ó de los fascículos (haz de nervios que tienen el mismo origen y destino) representantes de una parte del tronco, ó mediante electrodos situados en los músculos. Todavía llevarían botones para mantener el equilibrio, donde se situarían unos botones que accionarían el dispositivo. Este importante avance se aplicará este año a seis pacientes de seis países de la Unión Europea. Nuevo meses más tarde, se revisará el proceso y se harán nuevos implantes para intentar poner fin a esta discapacidad.

También, hace ya seis años que un equipo de oftalmólogos de la Universidad John Hopkins de Baltimore en los Estados Unidos de América; dirigido por Eugène De Juan, trabaja en un ojo artificial junto con investigadores de la Universidad de Harvard. Poco antes, Mark Humay, un estudiante de Hopkins, le preguntó si se podría imaginar una retina artificial sobre el mismo modelo de *implante coclear* (oído artificial). El ojo es una especie de burbuja vacía cuya pared interna, la retina, está dotada de fotoreceptores que captan las imágenes y las transforman en señales eléctricas en dirección al nervio óptico. Si los oftalmólogos perciben, mediante pruebas, algunas respuestas eléctricas, esto significa que el sistema ocular funciona a pesar de las dificultades de visión de los pacientes. Si el invidente percibe manchas de color, esto revela que las células secundarias están vivas y existe alguna esperanza

El profesor De Juan trabaja en este proyecto con el objetivo de traducir la realidad exterior en señales eléctricas destinadas a las capas externas de la retina. Se trataría de captar los objetos exteriores con ayuda de una minicámara con control de imagen y, después, de trasladar esta imagen eléctrica sobre el fondo de la retina. Pero el proyecto presenta multitud de problemas, ya que el Circuito Integrado electrónico que captaría toda esa información sería implantado en el interior del ojo y conectado con la retina con la ayuda de mil electrodos (el implante coclear sólo necesita quince). Los problemas de miniaturización pueden solventarse, pero los más complicados son los relacionados con la fragilidad de la retina. Los intentos realizados en este sentido son los menos avanzados, y los investigadores son conscientes de que todos estos proyectos pueden crear falsas esperanzas a los invidentes. De todas maneras, cualquier paso que se dé en su favor será siempre bienvenido.

En otro orden de ideas; vivir en un mundo de silencio aboca a los sordos al aislamiento. Hoy, el implante coclear les sirve para que puedan definitivamente comunicarse con el mundo exterior, pero hay que comprender la extrema complejidad de nuestro órgano auditivo para dar a este implante la importancia que se merece. Cada sonido es una vibración mecánica que pasa por el tímpano, y en el oído interno se convierte en señales eléctricas que son enviadas al nervio auditivo. Esta transformación eléctrica es crucial, ya que el 93% de las sorderas están ligadas a la destrucción del órgano de Corti, que es justamente el transformador de nuestro oído. Desde los años cincuenta, se sabe que un electrodo implantado en el oído permite a la persona entender los sonidos, pero la gran dificultad estriba en transcribir con precisión todos los sonidos del mundo exterior. Según la zona estimulada, el nervio auditivo "entiende" un sonido agudo, grave ó medio. La prótesis debía incluir entonces de doce a quince electrodos para conseguir que se oyeran todos los tonos. Era difícil conseguirlo. En 1984 se dió el visto bueno para el uso de estos implantes, y en 1990, el paso definitivo. Desde entonces, ya son miles las personas que los llevan en todo el mundo. *El implante coclear es una*

microcomputadora que situada en la parte más profunda del oído, reemplaza parcialmente el órgano. Los resultados son satisfactorios. Más del 90% de los sordos totales recobra la facultad de oír. Pero, ¿qué entienden las personas implantadas? Los sonidos que perciben son diferentes y el lenguaje que comprenden puede compararse a una lengua extranjera en la que aprenden a identificar los sonidos. Ahora se está investigando para amplificar los sonidos mediante un conjunto de quince filtros diferentes. Así, la electrónica ayuda a que los sordos se alejen cada vez más de su mundo silencioso.

En otro rubro, los diabéticos sustituirán la jeringuilla por una minibomba. Cuando se habla de diabéticos se imagina a personas permanentemente ligadas a su jeringuilla con insulina, pero no todos son insulino dependientes. Éstos sólo representan el 10% de los enfermos. La enfermedad consiste en la imposibilidad del páncreas de producir insulina, hormona que permite al organismo utilizar su carburante: La glucosa que circula por el cuerpo. Si no la fabrica, la tasa de azúcar en sangre se eleva y puede provocar un coma mortal. La solución es inyectarse insulina cada cierto tiempo, con lo que el enfermo no tiene más remedio que vigilar su tasa de glucemia.

Pero las inyecciones de insulina reproducen imperfectamente la actividad del páncreas. En los años ochenta se creó la bomba externa, un aparato programable, no mayor que un paquete de cigarrillos, que se une al cuerpo con una aguja implantada en la piel y permite difundir constantemente un caudal reducido de insulina. Aunque el sistema parecía estar en su apogeo, dos investigadores estadounidenses afinaron el aparato y crearon en 1989 la bomba implantable. Consiste en un catéter que, instalado en la cavidad peritoneal, cerca del páncreas, difunde la insulina para que se absorba al instante y emita sus dosis de forma muy precisa. Para que sea perfecta, sólo se necesita que pueda medir también la tasa de glucemia y difundir la insulina según el índice obtenido.

Otra aplicación, es la implantación de una UVI móvil contra el ataque cardíaco; entre los ataques al corazón, el más peligroso es la fibrilación ventricular. El órgano por efecto de una caótica actividad, es incapaz de bombear sangre. El cerebro no está irrigado correctamente y, en tres minutos, muere. Sólo hay un modo de parar la crisis: Sometiéndolo al corazón a una descarga eléctrica que consigue que su actividad recupere su curso natural, con un ritmo regular. Desde los años cincuenta, los servicios de reanimación disponen de desfibriladores que permiten enviar el "shock" que salva una vida. Pero el problema reside en llegar al hospital a tiempo. Un cardiólogo de origen polaco, Michel Mirowski, ha ideado un producto revolucionario: Un desfibrilador implantable capaz de vigilar permanentemente el ritmo cardíaco y de enviar, a los primeros síntomas de fibrilación, una descarga de 700 ó 800 volts a través del corazón. Gracias a él, un aparato tan pequeño como un mechero, miles de personas han salvado la vida.

Por otro lado, existe la posibilidad de tener un corazón para toda la vida. Las virtudes del corazón artificial son conocidas por casi todo el mundo, y ya se oye hablar de esa bomba de resina implantada y portátil, capaz de ayudar a un órgano deficiente. Unas 350 personas se han beneficiado de este sistema, el Novacor, que de momento es una solución para los pacientes que esperan un trasplante. Hasta ahora, quienes llevaban un corazón artificial tenían enganchado en bandolera a la cintura un aparato que pesaba cinco kilos y resultaba molesto. El nuevo sistema Novacor, en fase experimental será cómodo para el enfermo y una alternativa para el problema de las donaciones. Este

diminuto controlador se situará en el abdomen, cerca de la bomba, y la energía será dispensada, no por un cable, sino directamente a través de la piel.

El principio se basa en dos cinturones, uno exterior dotado de batería, y otro interior cargado por el primero. Este corazón ofrece la ventaja de que no es rechazado y de que se puede implantar a cualquier edad, pero su costo es elevado.

Una aplicación más corresponde en aplicar descargas eléctricas contra la epilepsia; hasta el momento, los medicamentos y la cirugía eran las únicas vías para parar las crisis epilépticas, pero algunos enfermos (que pueden sufrir hasta 50 ataques diarios) no responden a ninguno de estos tratamientos. Ahora ha aparecido un nuevo método: La estimulación eléctrica del nervio vago, que va desde el cerebro hasta el abdomen. En 1938, los profesores estadounidenses Bailey y Bremer demostraron que los impulsos eléctricos influyen en la actividad cerebral. Muchos equipos investigadores se dieron cuenta de que la electricidad puede apaciguar las crisis epilépticas. Dos de ellos fundaron Cyberonics, una Sociedad que fabrica simuladores eléctricos implantables. Se trata de un generador que va situado en la clavícula y está unido a un electrodo que los cirujanos fijan en el nervio vago. Más de 450 pacientes se benefician, hasta ahora, de este implante en todo el mundo.

Una nueva aplicación consiste en estar siempre en forma con marcapaso sexual. La impotencia afecta a uno de cada diez hombres en México, según el doctor L. Fernando Quinzaños, urólogo del Hospital Angeles del Pedregal. Hasta hoy, los hombres que la padecen la combatían con inyecciones de papaverina (más recientemente con la eficaz prostaglandina E1 Caverjet), un fármaco vasoactivo ó mediante la administración de alfabloqueantes, pero estos tratamientos, asociados a una psicoterapia, no resolvían siempre el problema. Ahora un nuevo, implante, aún en experimentación, puede ser la solución. Se trata de un generador eléctrico colocado en el escroto y conectado a un electrodo situado en el pene. " Como si fuera un marcapasos cardíaco, precisa el doctor Tritto, del Hospital Tenón de París, el aparato será programable. Según el caso se le darán órdenes para que lo estimule cada doce segundos. Este impulso regular permitirá mantener el tejido muscular del pene en posición de reposo hasta que la sangre afluya, en caso de necesitar una erección que permita la penetración exacta hacia la vagina, la correcta estimulación del clítoris y las paredes vaginales; sin causar ningún dolor en los sensibles testículos ".

Finalmente; vivir sin dolor, el sueño de muchos enfermos crónicos. La idea de utilizar la estimulación eléctrica para alenuar el dolor viene desde la antigüedad: En el año 46 a. d. C., Sciborius Largus usó descargas eléctricas para calmar cefaleas y dolores de gola. En 1972, el profesor Lazorthes, del Hospital CHU de Toulouse en Francia, implantó generadores eléctricos provistos de un electrodo en el espacio epidural. Había nacido la electroestimulación. La sensación dolorosa es el resultado de la excitación de ciertas fibras nerviosas muy finas. La estimulación eléctrica trata de reestablecer el equilibrio tocando otras fibras que tienen un efecto inhibitor sobre las primeras. Este implante surte efecto en pacientes con problemas discuales y en los casos de dolores ligados a miembros fantasmas; es decir, en aquellas personas que dicen sentir dolor a pesar de que se les ha amputado un miembro.

Resulta evidente que para comprender todas las posibilidades que ofrece la Biotecnología (y en específico la Bioingeniería), es necesario un profundo conocimiento

de las ciencias básicas que se encuentran en ella implicadas. Sin embargo, es fácil identificar algunas áreas en las que las materias primas naturales, entre las que se incluyen los alimentos y los desechos agrícolas pueden transformarse catalíticamente en productos útiles mediante el uso de microorganismos ó de los enzimas que se obtienen de ellos. Entre estos procesos se incluyen algunos que son bien conocidos y se explotan industrialmente, como es la producción de cerveza, que es considerada como una parte de la Biotecnología enzimática y de fermentación. En las otras áreas se encuentra el tratamiento de residuos; que tiene como objetivo la descontaminación ambiental mediante la cual, y de manera secundaria, la masa de microorganismos obtenida (biomasa) puede usarse para el consumo de los animales, ó bien como fuente para la obtención de productos químicos tales como el metano. Una gran parte de la Biotecnología implica el descubrimiento y la subsiguiente optimización de los procesos biológicos y bioquímicos necesarios para explotar las fuentes de materia prima naturales.

El conocimiento y la enseñanza en un campo tan amplio como es la Biotecnología (y sobre todo en la Bioingeniería) se ve dificultado por la incapacidad que se encuentran los estudiosos y especialistas de cada una de las áreas científicas que lo constituyen. (Microbiología, Ingeniería Química, Bioquímica, Química y Electrónica) para comprender el lenguaje usado por los demás.

Esto se debe, principalmente, a que cada uno de ellos carece de los conocimientos básicos requeridos para comprender e interpretar incluso los conceptos más fundamentales que tratan los demás. A menudo es difícil conseguir cruzar las barreras interdisciplinarias de cada una de las propias áreas de trabajo que existen dentro de la Biotecnología (y por supuesto, la Bioingeniería), lo que por otra parte es fundamental para adquirir la necesaria madurez.

V.2.- Potenciales Evocados.

Los potenciales evocados se pueden definir como: Fluctuaciones de la actividad eléctrica en el Sistema Nervioso Central debidas a estimulaciones dadas. Se puede distinguir entre potenciales evocados del Sistema Nervioso Central y Periférico; del Sistema Nervioso Central puede subdividirse en espinales, de tallo cerebral y corticales de acuerdo a las estructuras de las cuales se deriva la respuesta. Los potenciales evocados pueden hacer por la fisiología lo que la tomografía computarizada puede hacer por la anatomía; ya que los potenciales evocados son medios no invasivos de medir la función del Sistema Nervioso Central, siendo una parte muy importante en el diagnóstico, pronóstico y como técnica de " monitoreo "

V.2.1.- ¿ Cómo se Obtienen los Potenciales Evocados ?

Aunque los potenciales evocados humanos empezaron a ser analizados poco después del primer Electroencefalograma (EEG) tomado por Berger en 1929, no fue sino hasta 1947 que Dawson pudo demostrar que los potenciales evocados podían ser registrados desde el cráneo siguiendo estimulaciones somatosensoriales.

La explicación para este retraso se basa en que la amplitud de los potenciales evocados corticales es mucho más pequeña comparada con la del EEG, por lo cual se encuentran escondidos en él mismo y no pueden ser visualizados a menos que se utilice un procesamiento de señal. Los primeros potenciales evocados de Dawson se hicieron posibles gracias a la técnica de superimposición fotográfica con la cual los potenciales evocados se amplificaron por medio de superimposiciones de sucesivas respuestas en la pantalla. Después hubo otras técnicas, hasta que en el año de 1957 cuando Barlow describió "la promediación electrónica".

1.- ¿Qué es la Promediación? El proceso de promediación de la señal requiere una relación de tiempo constante entre la presentación del estímulo y el proceso de registro, esto es con el fin de que la señal repetitiva permanezca del mismo tamaño y la señal de fondo no repetitiva (EEG) tienda a ser menor mientras mayor sea el número de muestras tomadas. Esta relación es mostrada en la fig. V.1. El trazo superior (A) representa el tren de pulsos de los estímulos. El trazo inferior (B) muestra el EEG en donde la porción más negra es la señal registrada en la promediación.

La promediación empieza al tiempo del primer estímulo y continúa por un tiempo determinado, llamado tiempo de análisis ó tiempo de barrido; pudiendo decir que el proceso de promediación involucra la suma de barridos sucesivos de los cuales se obtiene una señal inteligible como resultado final. Como regla general se puede decir que la amplitud promedio de la actividad residual de fondo del EEG decrece en proporción de la raíz cuadrada del número de barridos incluidos en la promediación ($1/\sqrt{N}$). Esto se observa en la fig. V.2, donde la amplitud entre picos de la señal de fondo (EEG) es aproximadamente una tercera parte de la amplitud vista en los registros individuales

$$(1/\sqrt{8} = 1/2.83 = 0.35)$$

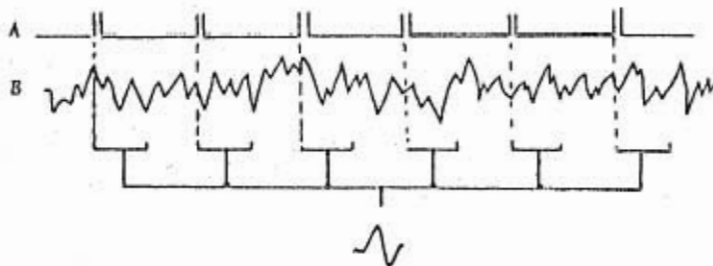


Fig. V.1.- Relación en el Proceso de Promediación de Barlow.

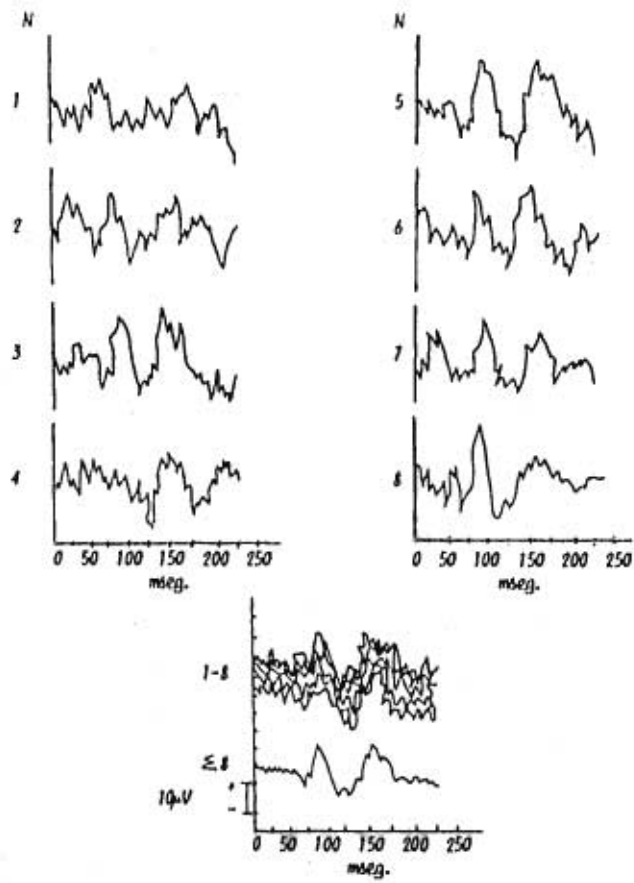


Fig. V.2.- Número de Barridos Incluidos en la Promediación.

V.2.2.- ¿ De Qué Consta un Sistema Promediador ?

Un sistema promediador consta de tres partes esenciales como se observa en la fig. V.3, y éstas son:

- a). Amplificador.
- b). Generador de estímulos.
- c). Promediador.

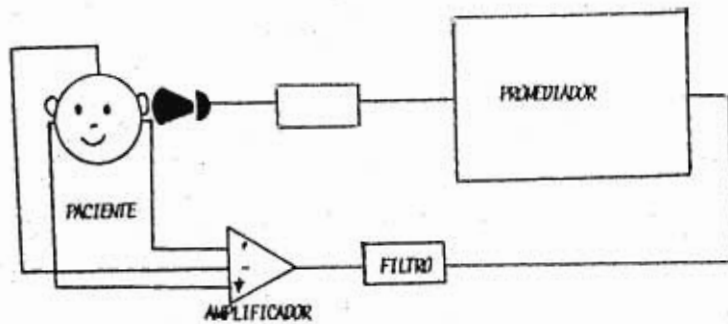


Fig. V.3.- Diagrama de un Sistema Promediador.

A continuación se detalla la teoría de operación y características principales de los elementos antes mencionados, que son:

a). *Amplificador*.- El propósito del amplificador es aumentar el nivel de la señal registrada. Los parámetros que identifican las características de un amplificador son:

1a). *Ganancia*.- La ganancia de un amplificador es el factor por el cual hay que multiplicar la señal de entrada. Un amplificador tiene típicamente dos entradas: Una positiva y la otra negativa. La diferencia de la señal a través de estas dos entradas se multiplica por un factor igual a la ganancia, que puede ser 10, 100, 1000, etc. En el amplificador existe además de las entradas positiva y negativa, una referencia de tierra lógica, la cual no es entrada pero se utiliza para tener un registro estable.

2a). *Polaridad*.- En un promediador, una diferencia en la entrada causa un desplazamiento vertical de la pantalla. La pregunta es *¿ qué dirección tendrá el desplazamiento ?*. Por ejemplo; si la entrada (+) es más positiva que la (-) habrá un deflexión hacia arriba en la pantalla; si por el contrario, la entrada (+) es más negativa que la entrada (-) entonces la deflexión en la pantalla será hacia abajo. (Fig. V.4).

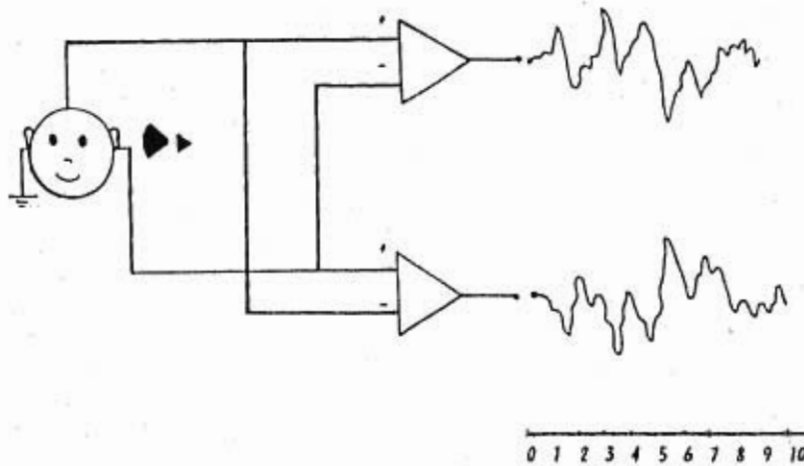


Fig. V.4.- Polaridad en un Promediador.

3a).- *Ancho de Banda*.- El ancho de banda de un filtro especifica el rango de frecuencia del registro. Esto quiere decir que todas las frecuencias fuera de las dos especificadas (la alta y la baja) son atenuadas. Existen dos parámetros para especificar las características de un filtro: La frecuencia de corte y el factor de atenuación. Una señal se atenuará más y más mientras se aleje de la frecuencia de corte y la medida de cómo se atenúa, se llama *factor de atenuación*.

4a).- *Impedancia de Entrada*.- La impedancia de entrada es la medida de la resistencia al flujo de corriente en las terminales del amplificador. Mientras más alta sea la impedancia, más alta será la resistencia al flujo de corriente. El objetivo principal de tener una alta impedancia de entrada es optimizar la razón de rechazo de modo común del sistema cuando se enfrenta a un desbalance de impedancia entre electrodos de registro.

5a).- *Razón de Rechazo de Modo común*.- Esta es la medida de qué tan bien, una señal común a ambas estradas del amplificador es atenuada. Esta razón debe tener un valor típico que varíe entre 80 y 120 dB, lo cual viene de la siguiente ecuación.

$$dB = 20 \text{ Log } \frac{\text{Impedancia de Entrada}}{\text{Desbalance de Impedancia a las Entradas del Amplificador}}$$

Y la señal común que debe buscar rechazarse es la de alimentación comercial (60 Hz).

$$\text{Modo de Rechazo común} = \frac{\text{Desbalance de impedancias}}{\text{impedancia de entrada}} \times \text{Señal Común}$$

6a).- *Ruido Equivalente de Entrada*.- Todos los dispositivos eléctricos generan ruido. En el caso del amplificador este ruido se mide poniendo en corto sus entradas y midiendo la salida del amplificador. La cantidad de ruido es afectada por el ancho de banda del sistema, mientras más grande el ancho de banda mayor el ruido.

6b).- *Estimulador*.- Un requisito importante para la promediación es que haya sincronización entre el promediador y el estimulador. Los estímulos pueden ser auditivos, visuales y somatosensoriales.

6c).- *Promediador*.- Es el responsable de llevar a cabo la relación señal a ruido haciendo las sumas de los sucesivos barridos. En la *fig. V.5* se muestra un diagrama a bloques simplificado de un promediador.

Consiste de un promediador analógico/digital el cual convierte la señal diferencial entrante en muestras discretas; estas muestras son luego sumadas apropiadamente en una memoria digital, también existe un convertidor digital/analógico el cual convierte las muestras discretas en señal analógica para que puedan ser vistas en una pantalla ó ser graficadas.

6(d). - *Resolución horizontal* - Un concepto importante que debe ser bien entendido es la conversión de una señal continua en señales discretas digitales. Si existe una cantidad suficiente de puntos, una forma de onda puede representarse con claridad en la forma digital y por el contrario si no existe un número suficiente de puntos, la forma de onda no se representará correctamente. Fig. V.6

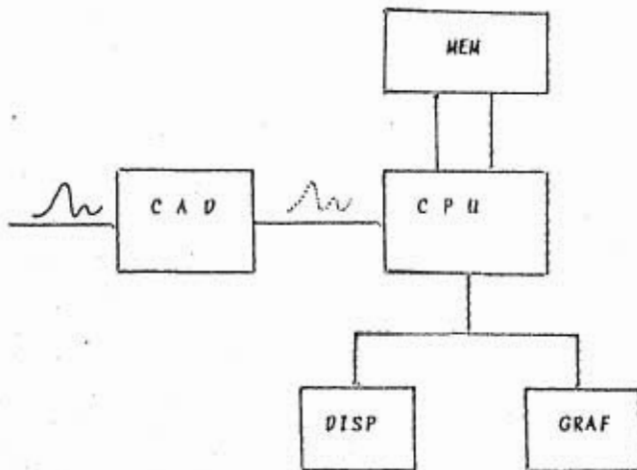


Fig. V.5 - Figura de un Promediador.

Consiste de un promediador analógico/digital el cual convierte la señal diferencial entrante en muestras discretas; estas muestras son luego sumadas apropiadamente en una memoria digital, también existe un convertidor digital/analógico el cual convierte las muestras discretas en señal analógica para que puedan ser vistas en una pantalla ó ser graficadas.

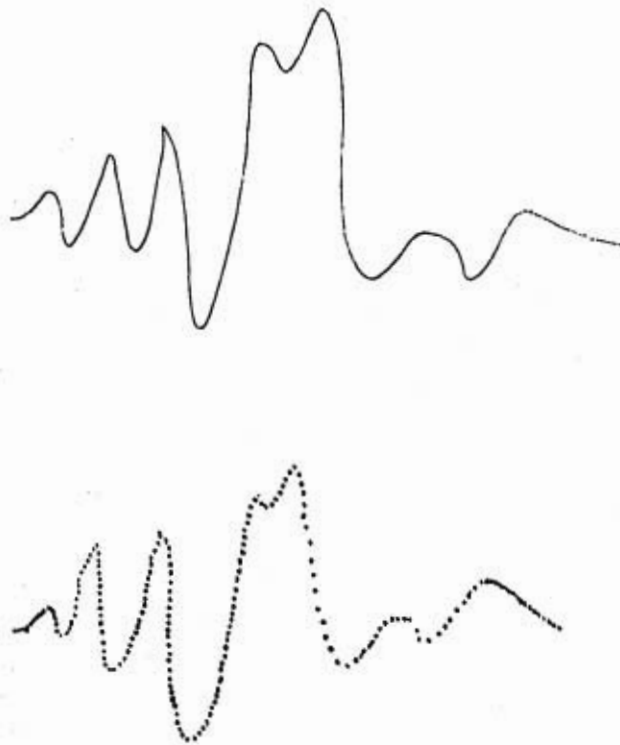


Fig. V.6. - Resolución Horizontal.

V.2.3.- ¿ De dónde se Obtienen los Potenciales Evocados?

Puesto que para la obtención de los potenciales evocados son necesarios electrodos, esta es una parte muy importante, ya que una mala aplicación de un electrodo se traduce en un falso registro. Por eso, nunca será demasiado el tiempo que se use para asegurarse que los electrodos están colocados en el lugar correcto, y teniendo una impedancia menor de 5 Kilo Ohms.

Cuando los electrodos sean colocados, se recomienda utilizar el Sistema Internacional de Medición (EEG 10-20). Que se muestra en la fig. V.7, donde puede verse que el sistema consta de 23 puntos los cuales se representan con letras que corresponden al nombre de los huesos del cráneo y subíndices.

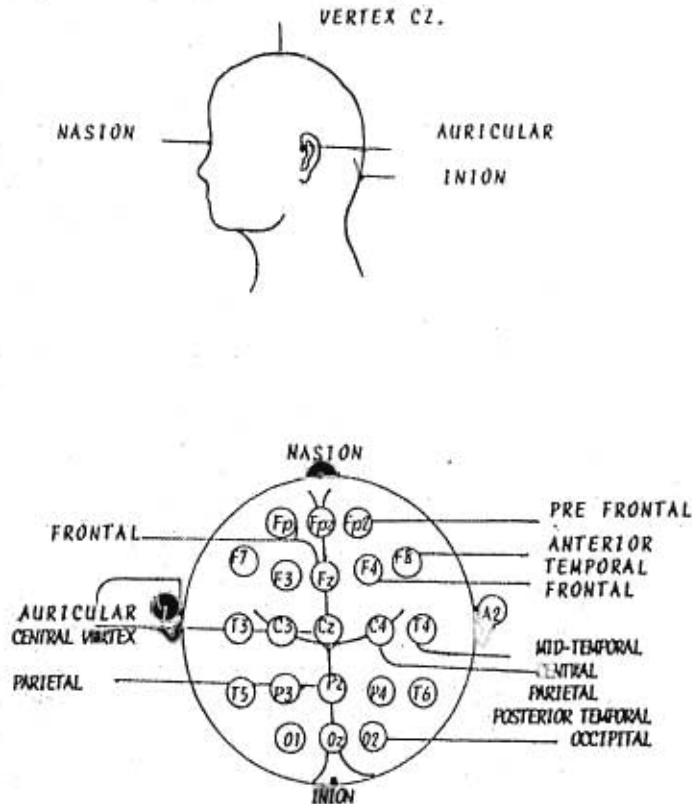


Fig. V.7.- Obtención de los Potenciales Evocados.

Si son pares corresponden al lado derecho, si son nones corresponden al lado izquierdo y si el subíndice es Z corresponde a la línea media. Algunos otros puntos se utilizan para potenciales evocados en distintas partes del cuerpo, de los cuales los más frecuentes son los siguientes: Codo, rodilla, punto de ERB (localizado en el ángulo formado por la clavícula y el músculo esternocleidomastoideo), las vertebrae lumbares 1 y 3, las vertebrae cervicales 2 y 7, el nervio mediano a nivel de la muñeca, el nervio tibial posterior a nivel del pie, y el nervio peróneo a nivel de la rodilla.

V.2.4.- Aplicación de los Potenciales Evocados.

Los potenciales evocados pueden ser divididos en cuatro como a continuación se muestra:

- 1.- Potenciales Evocados Auditivos.
- 2.- Potenciales Evocados Visuales.
- 3.- Potenciales Evocados Somatosensoriales.
- 4.- Potenciales Evocados Cognoscitivos.

Hasta el momento se ha encontrado aplicabilidad de los potenciales evocados a las siguientes especialidades médicas: Neurología, Neurocirugía, Psiquiatría, Audiología, Traumatología, Medicina física, Cirugía traumatológica, Optometría, Pediatría, Anestesiología, Electroencefalografía.

V.2.5.- División de los Potenciales Evocados.

Cada uno de los cuatro tipos de los potenciales evocados pueden ser subdivididos. A continuación se mostrarán estas divisiones y los protocolos para obtenerlos así como las curvas resultantes típicas de cada uno de ellos.

- 1.- Potenciales evocados auditivos pueden ser divididos como sigue:
 - a).- Respuesta auditiva del tallo cerebral (ABR).
 - b).- Potencial auditivo de latencia intermedia.
 - c).- Potencial auditivo de latencia tardía.

a).- *Respuesta auditiva del tallo cerebral (ABR)*. Esta prueba se caracteriza por chequear la trayectoria auditiva desde el nervio auditivo (VIII PAR) hasta la corteza cerebral. Tiene una forma de onda resultante típica que consta de cinco picos principales.

Desde la latencia (tiempo) a cada uno de estos picos y de la diferencia de latencias entre picos ó de la amplitud de los mismos puede determinarse si existe lesión en la trayectoria auditiva. Las latencias han sido establecidas, lo mismo que las amplitudes en función de la observación de personas "normales". Los cinco picos antes citados se numeran del I al V, y se presume que cada uno de ellos se genera en una parte específica del tallo cerebral. Fig. V.8.

- El pico I se genera en el nervio auditivo.
- El pico II se genera en el núcleo coclear.
- El pico III se genera en las olivas superiores.
- El pico IV se genera en el lemnisco lateral.
- El pico V se genera en el colículo inferior.

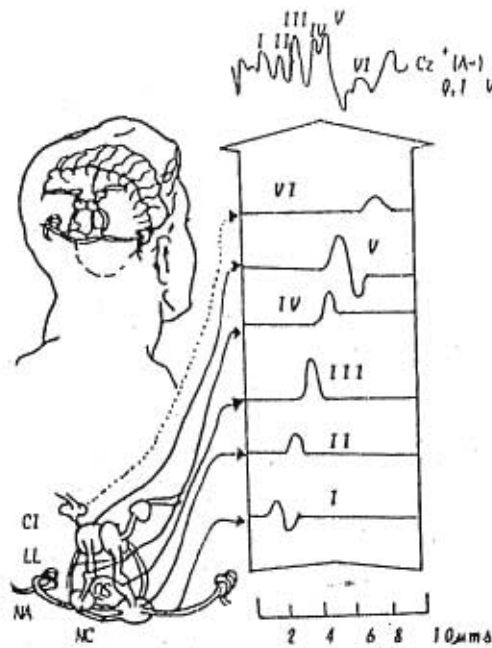


Fig. V.8.- Potenciales Evocados.

La colocación de los electrodos se hace como sigue: El electrodo de referencia se coloca en el punto C_2 (vértice) localizado en el punto medio entre el inión y el nasión, el electrodo negativo puede colocarse en la parte superior del lóbulo de la oreja punto A_1 ó A_2 ya se trate del lado izquierdo ó derecho respectivamente ó puede colocarse sobre el masbide detrás del lóbulo, puntos M_1 ó M_2 y por último el electrodo de tierra se coloca en el punto FPZ (frente). Fig. V.9.

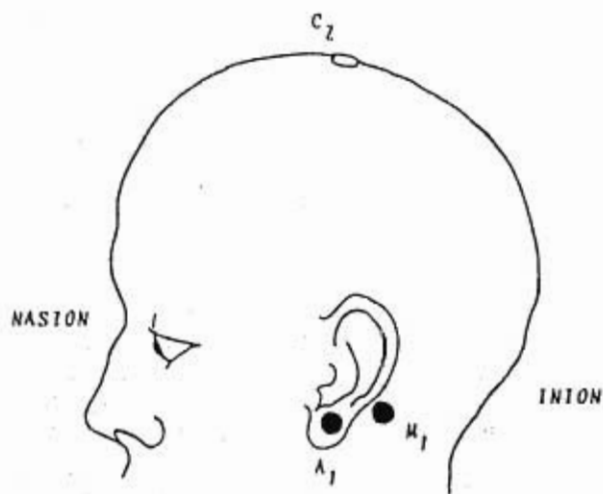


Fig. V.9.- Colocación de Electrodos.

Por lo que respecta a la estimulación, ésta se hace con un pulso de muy pequeña duración, conocido comúnmente como "click". Al colocar los audífonos para estimulación auditiva debe tenerse cuidado de no mover los electrodos.

El "click" puede ser de dos formas, positiva ó también llamada rarefacción, esto quiere decir que la dirección es del movimiento del diafragma en los audífonos es hacia afuera del oído; y es de forma negativa llamada de condensación, la dirección del movimiento del diafragma en los audífonos es hacia el oído.

El registro puede variar dependiendo del número de canales que se utilicen, esto es: Cuatro registros puede hacerse al mismo tiempo, si se toma el registro del lado que está siendo estimulado se llama ipsilateral, y si se toma el registro del lado contrario al que está siendo estimulado se llama contralateral. En la fig. 10 se muestra un registro de ABR en dos canales. En la curva del lado izquierdo se muestra el registro ipsilateral y en el lado derecho el registro contralateral.

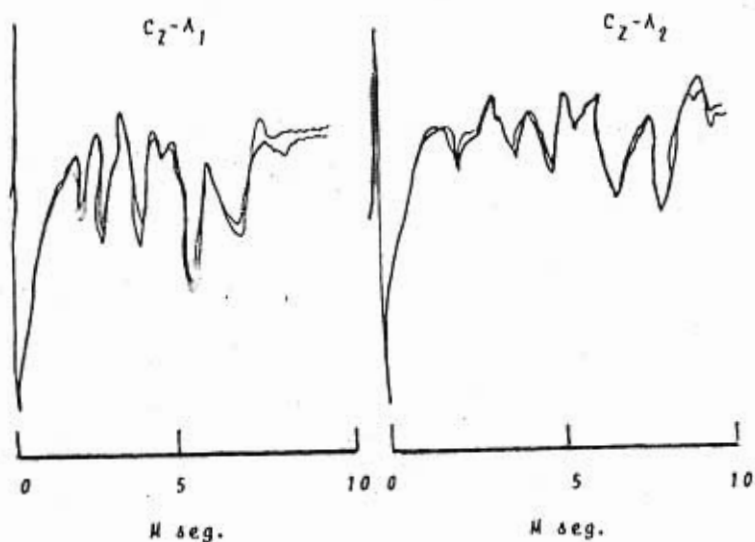


Fig. V.10.- Registro de Canales Utilizados en la Estimulación.

El tiempo de barrido para ABR es de 10 mseg., es este parámetro la única diferencia entre ABR, potenciales de latencia intermedia y potenciales de latencia tardía, ya que en latencia intermedia se usa un tiempo de barrido de 50 mseg. Fig. V.11 y en los potenciales de latencia tardía el tiempo de barrido es de 250 mseg. Fig. V.12.

En la figura V.13 se observan registros de potenciales evocados auditivos de latencias tardías utilizando un tono de 1KHz en distintos lugares del cráneo lo cual explica la diferencia en la amplitud de cada registro.

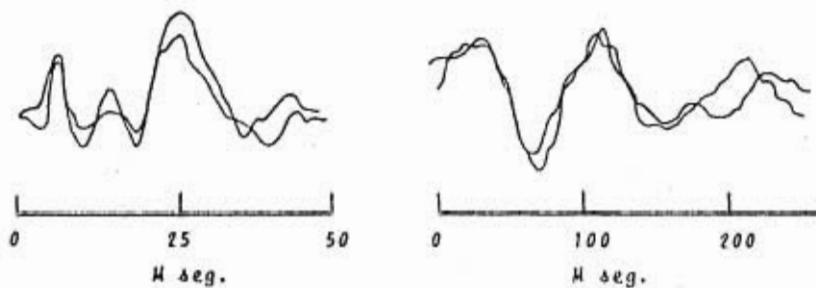


Fig. V.11 y Fig. V.12.- Potenciales de Latencia Intermedia y Tardía.

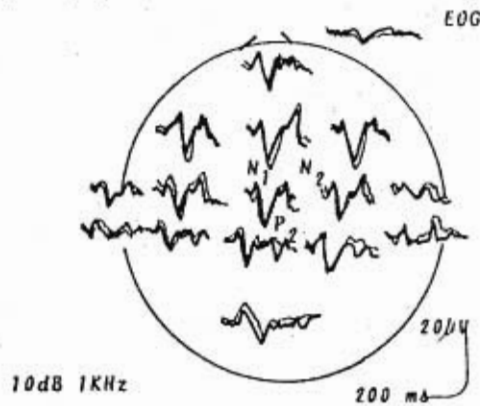


Fig. V.13.- Registro de Potenciales Auditivos de Latencias Tardías.

2).- *Potenciales Evocados Visuales*.- Tienen como finalidad la de detectar lesiones en la trayectoria óptica desde la retina hasta la corteza visual y pueden ser divididos como sigue:

- a).- Potenciales evocados visuales de Inversión de Patrón.
- b).- Potenciales
- c).- Electro Retinograma.
- d).- Electro Oculograma.

a).- *Potenciales Evocados Visuales de Inversión de Patrón*.- Para esta prueba se requiere un monitor de televisión con un patrón de cuadros negros y blancos como un tablero de ajedrez en el cual, los cuadros pueden variar en tamaño, y estos están invirtiéndose, los negros ó los blancos y los blancos a los negros. Esta razón de inversión puede ser variable, y esta que genera la señal para el registro.

La colocación de los electrodos es como sigue: El electrodo de referencia se coloca en el punto C_z (vértice) y dependiendo del número de canales a utilizar, podrán colocarse los otros electrodos como sigue: En el punto $O'z$, 5cm arriba del inión, ver figura V.14, en el punto P_z , 20 % de la distancia entre inión y C_z , $O'1$ ó $O'2$ son a los lados del punto $O'z$ y el punto Fpz en la frente como tierra.

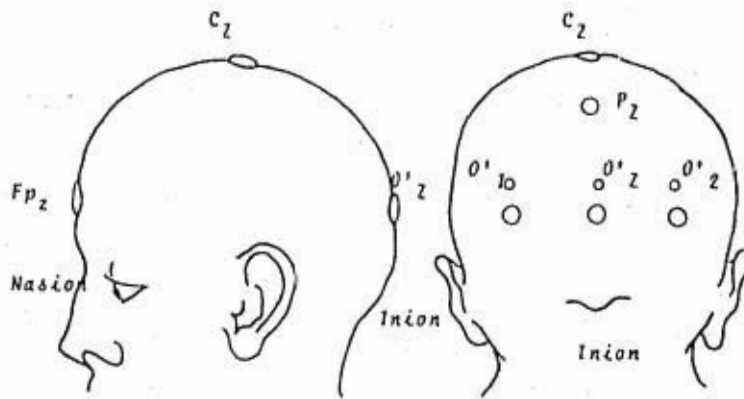


Fig. V.14 y Fig. V.15.- Colocación de Electrodo.

En las figuras V.16 y V.17 se muestran las formas de onda en el registro de inversión de patrón.

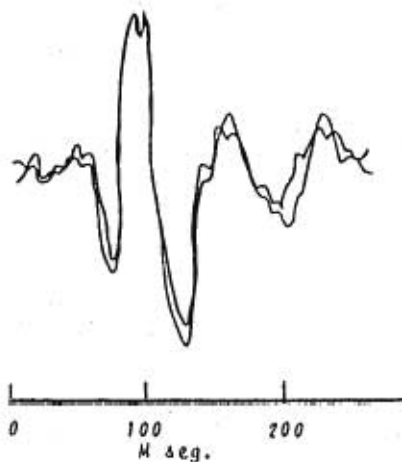
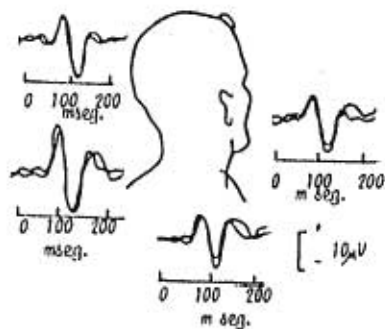


Fig. V.16 y V.17.- Formas de Onda.

b).- *Potenciales Evocados Visuales de Destello* - Este tipo de potenciales evocados se utiliza cuando el paciente no se encuentra en posibilidad de cooperar. Por ejemplo: niños pequeños, pacientes en estado de coma ó pacientes anestesiados cuando se trata de monitoreo quirúrgico. Para esto se utilizan unos goggles que tienen un arreglo de leds (diodos emisores de luz) con los cuales el paciente no necesita tener la vista fija en un mismo sitio.

La colocación de los electrodos en la misma de los potenciales de inversión de patrón. La forma onda del registro se muestra en la *figura V.18*.

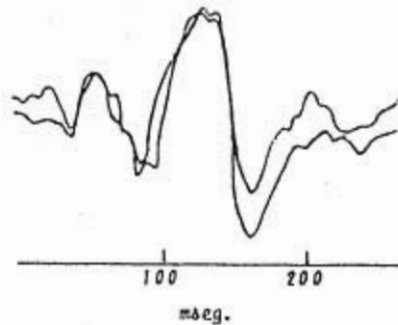


Fig. V.18.- Registro de Forma de Onda.

El tiempo de barrido es utilizado en los potenciales visuales de destello es de 250 milisegundos.

c).- *Electro Retinograma*.- Puesto que el oftalmoscopio solo permite una inspección limitada de la retina, ya que no prueba su funcionamiento, el ERG ofrece una única oportunidad de seguir el funcionamiento de la retina cuando la visión no es adecuada; también el ERG es útil diagnóstico de disparidad en la función visual.

El exámen clínico frecuentemente se limita a las respuestas a la adaptación, a la luz (fotópico); a la obscuridad (escotópico). En la *Fig. V.19*, se muestra una curva típica de ERG con sus ondas A y B. Cuando la respuesta es escotópica, la respuesta es más grande y más lenta, y la onda B predomina; sin embargo, cuando la respuesta es fotópica, la onda A predomina y la respuesta se hace más pequeña y más rápida.

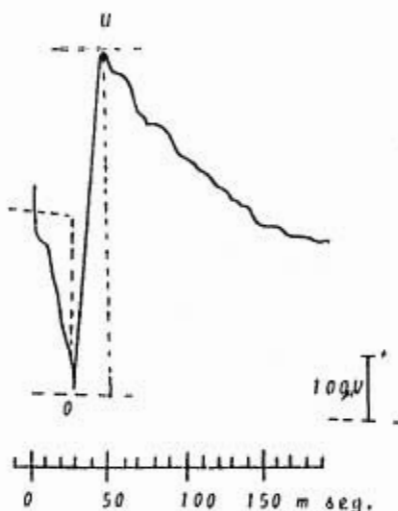


Fig. V.19.- Curva Típica de ERG con sus ondas A y B.

La colocación de los electrodos en el ERG es como sigue: Pueden aplicarse electrodos sobre la piel, uno sobre el hueso malar a la altura de la comisura exterior del ojo y otro exactamente debajo de la pupila sobre el mismo hueso. *Fig. V.20.* Otra forma de colocar electrodos es en forma de lente de contacto sobre la córnea.

La estimulación para ERG puede ser con destellos de luz brillante, destellos de luz difusa y de distintos colores ó inversión de patrón. El tiempo de barrido que se utiliza es de 200 mseg.

d).- Electro Oculograma.- La diferencia de potencial que existe entre la córnea y la retina permite llevar a cabo los registros del movimiento de los ojos. El EOG junto con el ERG puede ser una herramienta muy útil para la detección de lesiones tanto en la retina

como en el nervio óptico. La colocación de los electrodos se hace en la órbita ocular, uno sobre el hueso malar por debajo de la comisura externa del ojo y el otro sobre el hueso de la nariz a la altura del lagrimal. Una vez que los electrodos se han colocado se requiere la fijación de los ojos en un pequeño foco colocado del lado izquierdo y luego a otro colocado al lado derecho; el movimiento de los ojos debe tener un ángulo entre 20° y 40° , como se muestra en la Fig. V.21.

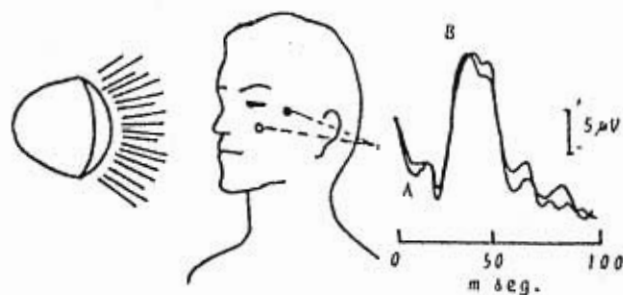


Fig. V.20.- Colocación de electrodos en el ERG.

Este movimiento debe ser lento (de 4 a 5 veces por minuto), permitiendo un segundo de fijación en cada lado. Cada grupo de movimientos debe ser llevado a cabo sólo cada dos minutos.

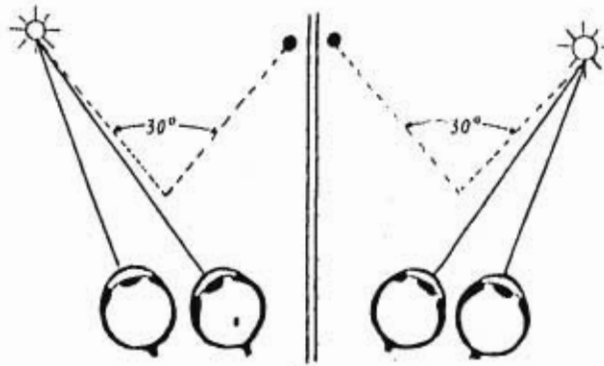


Fig. V.21.- Grupo de Movimientos de los Ojos.

En la Fig. V.22, se muestra la forma de onda y los puntos negros representan la amplitud promedio de varios registros durante 5 minutos de preadaptación, 15 minutos de luz y 15 minutos de obscuridad. Si la relación dada por la amplitud más grande durante el período de luz y la amplitud más baja durante el período de obscuridad es mayor que 1.3, se considera como correcto el EOG.

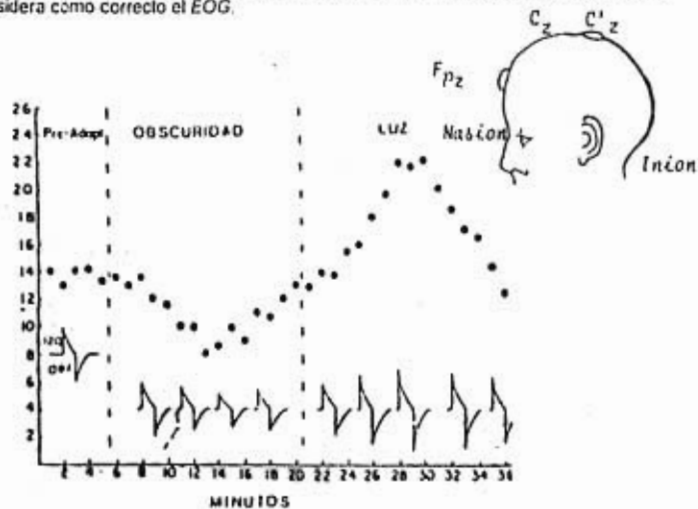


Fig. V.22.- Forma de Onda de un EOG

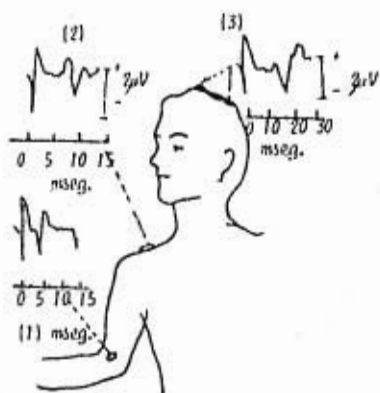
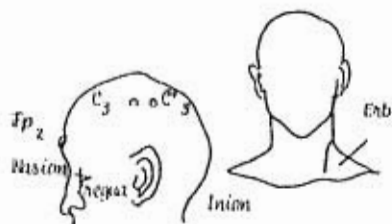


Fig. V.23.- Colocación de los Electrodo
en el punto ERB.

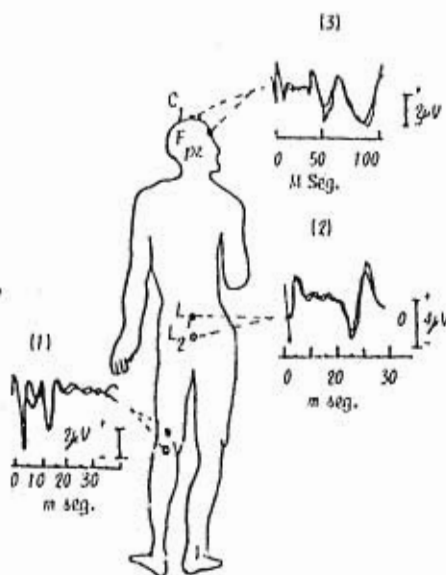


Fig. V.24.- Estimulación del Nervio Tibial Posterior

3.- Potenciales Evocados Somatosensoriales.- Los potenciales evocados somatosensoriales tienen como utilidad principal la de detectar alguna lesión a lo largo de la trayectoria nerviosa, monitoreo en cirugía de espina dorsal, cirugía ortopédica y problemas traumatólogicos. Los nervios más comúnmente usados para esta prueba son: En las manos, el nervio mediano; en los pies, el nervio tibial posterior y en las rodillas el nervio peroneo. La colocación de los electrodos es como sigue: Cuando se estimula el nervio mediano los electrodos se colocan en el antebrazo, en el punto de ERB, en la vértebra cervical 2 ó en la 7; y en el punto C3 ó C4 que se localizan 2 cm atrás de los puntos C₃ y C₄. Fig. V.23.

En el caso que se estimule el nervio tibial posterior, los electrodos se colocarán en la parte posterior de la rodilla (corva) en las vértebras lumbares 1 y 3, y en el punto C2 colocado 2 cm atrás del vértice (Fig. V.24). En los casos anteriores el electrodo de referencia se coloca en el punto FPz (frente) y la tierra, lo más cercano del lugar donde se estimula. Al aplicar corriente para estimular, debe buscarse que se mueva un poco el dedo pulgar en el caso de que se estimule el nervio mediano (Fig. V.25).



Fig. V.25.- Estimulación del Nervio Mediano en el Pulgar.

Y en el caso de estimular los nervios peróneo ó tibial, debe permitirse que el pie tenga un ligero movimiento (Fig. V.26), esto es con el objetivo de no incomodar al paciente.

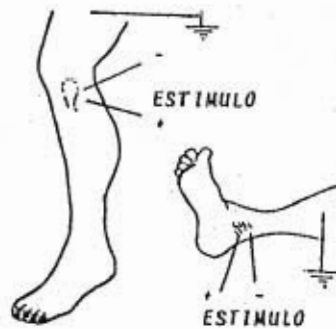


Fig. V.26.- Estimulación de Nervios Peróneo ó Tibial.

En la Fig. V.27 se muestran las formas de onda típicas con su respectivo tiempo de barrido para potenciales evocados somatosensoriales.

4.- *Potenciales Evocados Cognoscitivos.* - La intención de este tipo de potenciales evocados, es la medir la capacidad de reconocimiento que un paciente tenga de dos tipos de tonos, uno frecuente ó esperado y otro raro ó inesperado cuando son estos aplicados al azar. Este tipo de potenciales es llamado P300, por el hecho de que la curva resultante se da a los 300 mseg. aproximadamente. La colocación de electrodos es la misma que se utiliza en los potenciales evocados de respuesta auditiva de tallo cerebral. En la Fig. V.28, se ilustra el registro del tono frecuente del raro.

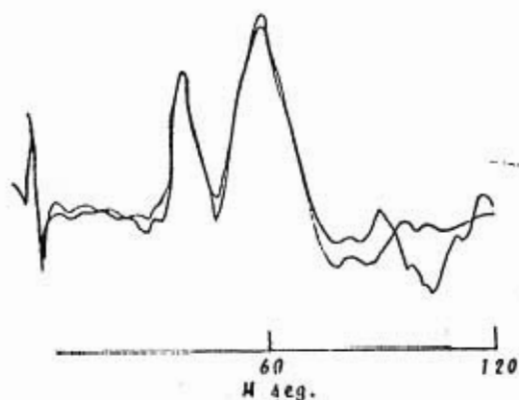


Fig. V.27.- Formas de Onda Típicas con su Respectivo Tiempo de Barrido para Potenciales Evocados Somatosensoriales

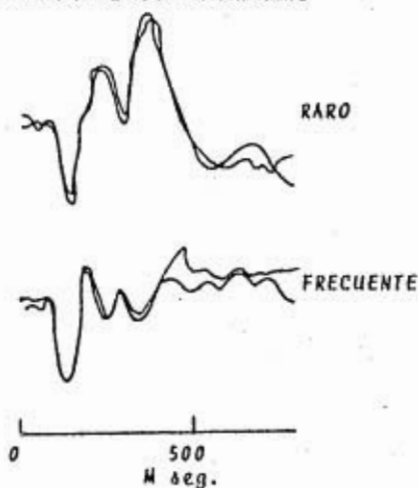


Fig. V.28.- Ilustración del Registro del Tono Frecuente del Raro.

V.3.- Sistema Sensorial de la Visión.

V.3.1.- Introducción.

La conciencia acerca del mundo está determinada por los mecanismos fisiológicos comprometidos en el procesamiento de la información aferente, incluyendo pasos tales como la conversión de la energía del estímulo en la actividad nerviosa codificada que indica la calidad, intensidad, localización y duración del estímulo. Los potenciales de acción se codifican en diferentes patrones temporales a lo largo de diferentes fibras nerviosas. Este código representa la información procedente del mundo externo aunque, como sucede a menudo con los símbolos, difiere en gran manera de la información que representa. Es posible que la información aferente codificada tenga o no un correlacionado consciente; es decir, puede estar o no incorporada al conocimiento consciente del mundo físico. La información aferente que tiene un correlacionado consciente se denomina información sensorial y, para los propósitos de este trabajo de tesis, esa experiencia consciente de los objetos y eventos del mundo externo que se adquieren del procesamiento nervioso de la información aferente se denomina percepción. Desde el punto de vista de la intuición podría parecer que los sistemas sensoriales operan como un equipo eléctrico, pero esto no es válido sino hasta cierto punto.

V.4.- Visión.

Los receptores del ojo son sensibles tan sólo a aquella parte diminuta del gran espectro de la radiación electromagnética que se llama luz (Fig. V.29). La radiación electromagnética tiene propiedades similares tanto a las de las partículas, como a las de las ondas. La energía radiante se propaga en forma de diminutos "paquetes" discretos denominados fotones. La energía radiante se describe, sin embargo, en términos de frecuencias y longitudes de onda. La longitud de onda es la distancia que hay entre dos picos sucesivos de onda (Fig. V.30), y varía desde las varias millas del extremo superior del espectro hasta las fracciones mínimas de un milímetro del extremo inferior. Las longitudes de onda capaces de estimular los receptores del ojo se hallan entre los 400 y los 700 nm (un nanómetro equivale a una mil millonésima de metro). La luz de las diferentes longitudes de onda se asocia con las diversas sensaciones de los colores; por ejemplo, la luz que tiene una longitud de onda de 540 nm aproximados origina la sensación del verde, y la luz que tiene una longitud de onda de unos 565 nm da origen a la sensación del rojo. La frecuencia es el número de picos de onda (ó ciclos) que pasan por un punto en un período determinado de tiempo y que se expresa en ciclos por segundo. La energía de un fotón es proporcional a la frecuencia de su oscitación. La longitud de la onda multiplicada por la frecuencia es igual a la velocidad, y la velocidad de la luz en el espacio libre es una de las constantes universales de la Naturaleza. Así pues, al disminuir la longitud de onda, crece la frecuencia.

Una onda de luz puede representarse en la forma más simple mediante un rayo ó línea trazada en la dirección en que viaja la onda. En una vecindad entre dos sustancias tales como la córnea del ojo (Fig. V.31) y el aire que se encuentra fuera de ella, los rayos se doblan de tal manera que viajan en una nueva dirección. El grado de doblamiento depende de la frecuencia de la luz y del ángulo en que ella entra al segundo medio.

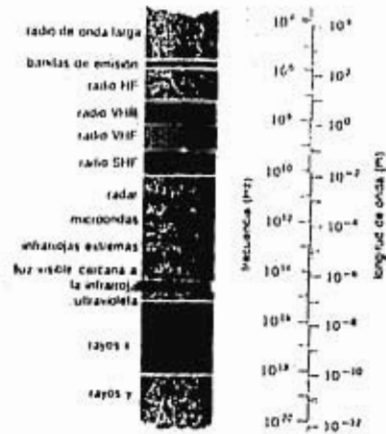


Fig. V.29.- Espectro Electromagnético.

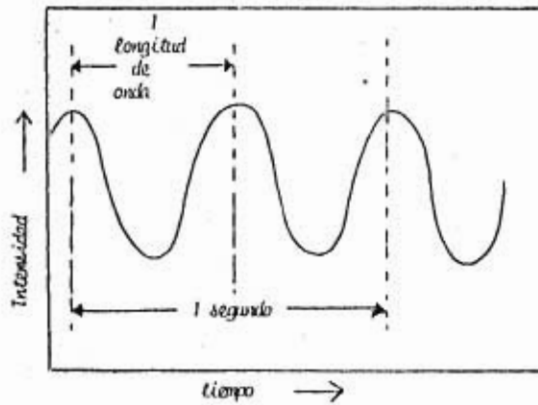


Fig. V.30.- Propiedades de una Onda La Frecuencia de Esta Onda es 2Hz.

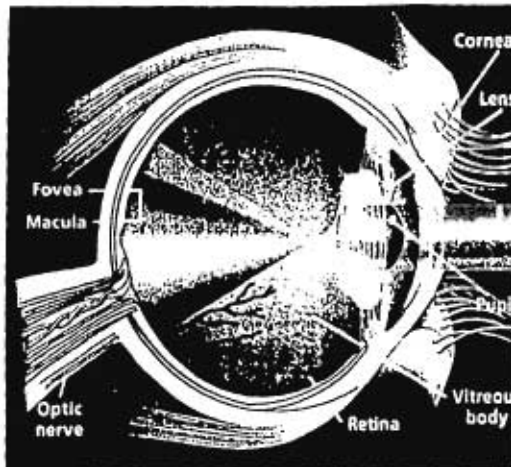
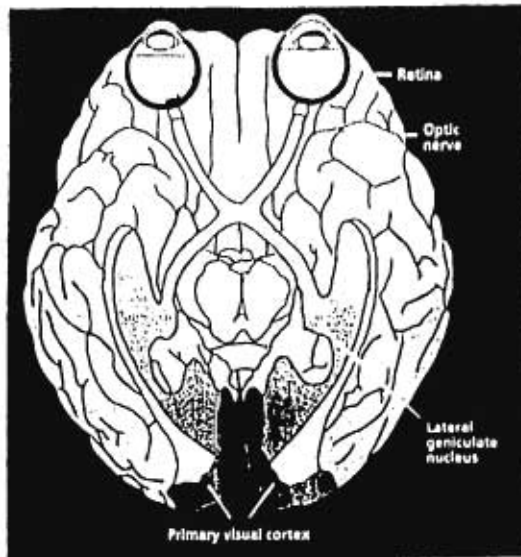


Fig V 31. - Ojo Humano.- Los Vasos sanguíneos Representados van por la Parte Posterior del Ojo, Entre la Retina y el Humor Vitreo.

V.5.- La Óptica del Ojo.

Las ondas de luz se propagan en todas direcciones desde cada punto de una fuente de luz. Estas ondas divergentes de luz deben pasar a través de un sistema óptico que las enfoca nuevamente hacia un punto antes de lograrse una imagen precisa de la fuente de luz. En el ojo mismo, la imagen del objeto que se ve debe enfocarse en la retina, estrato delgado de tejido nervioso que tapiza la parte posterior del globo del ojo, donde se encuentran las células receptoras del ojo, sensibles a la luz. El cristalino y la córnea del ojo son los sistemas ópticos que enfocan la imagen del objeto en la retina. El papel de la córnea es más importante que el del cristalino en el enfoque de la imagen sobre la retina porque los rayos de luz tienen un mayor doblamiento al pasar del aire a la córnea, que al entrar al cristalino y salir de él.

La superficie de la córnea es curva, y así los rayos de luz que proceden de una sola fuente dan contra la córnea en diferentes ángulos variando el grado de su doblamiento, pero en forma tal que después de salir del cristalino se dirigen a un punto (Fig. V.32a). Obsérvese lo que sucede a la imagen cuando el objeto que se está viendo tiene más de una dimensión (Fig. V.32b); la imagen de la retina se encuentra invertida hacia arriba en relación con la fuente original de luz. La posición derecha-izquierda se halla asimismo invertida. La forma de la córnea y del cristalino como también la longitud de la bola del ojo determinan el punto en que los rayos de luz convergen nuevamente. Aunque la córnea realiza la mayor parte cuantitativa del enfoque de la imagen visual sobre la retina, todos los ajustes relacionados con la distancia se hacen mediante el cambio de la forma del cristalino. Tales cambios se denominan acomodación. La forma del cristalino es controlada por un músculo que achata el cristalino cuando los objetos distantes han de enfocarse sobre la retina, y le permite adoptar por el contrario una forma más esférica a fin de suministrar doblamiento adicional de los rayos de luz cuando los objetos que se ven están cercanos (Fig. V.33).

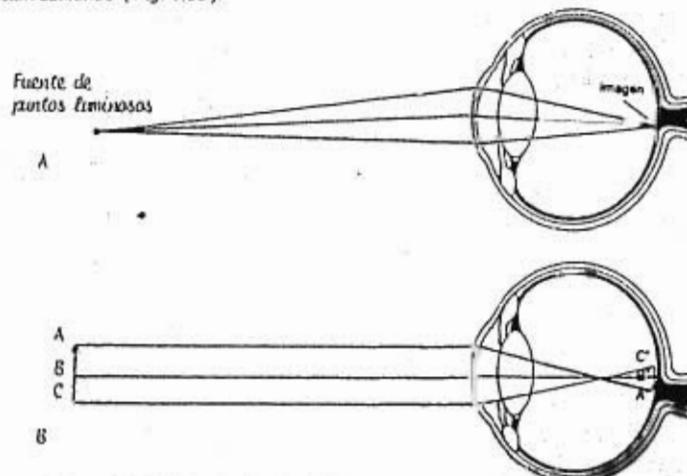


Fig. V.32.- Refracción (Doblamiento) de la Luz en el Sistema de Lentes del Ojo. La Fuente de Luz es A, un punto, y B, un Objeto que Consta de Muchas Fuentes de Puntos.

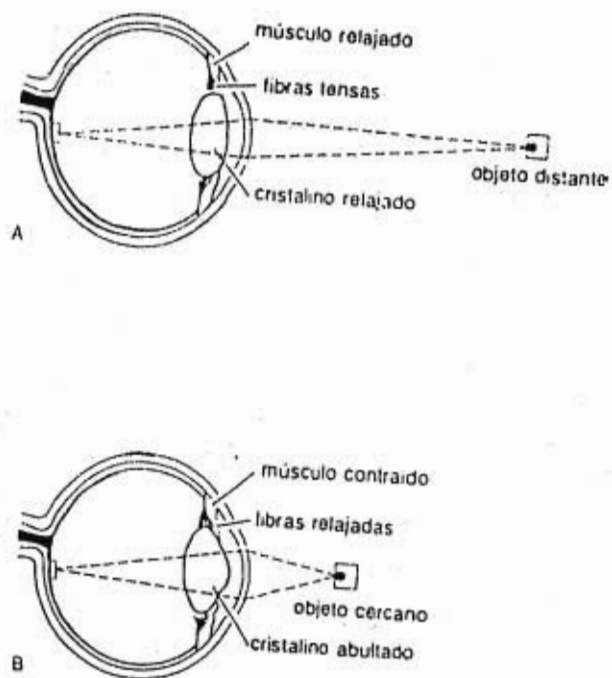


Fig. V.33.- Acomodación del Cristalino a la Visión Distante y a la Visión Cercana.
(A) - El Cristalino se Estira para la Visión Distante, de tal Manera que Agrega un Mínimo de Poder de Enfoque. (B) - El Cristalino se Recoga para la Visión Cercana, a fin de Lograr un Mayor Poder de Enfoque.

Durante la vida se agregan células al cristalino pero solamente a la superficie externa. Esto significa que las células del centro del cristalino son las más antiguas y las más apartadas del líquido de alimentación que baña la parte externa del cristalino (si los capilares atravesaran al cristalino interferirían su transparencia). Las células centrales se envejecen y mueren primero, y con la muerte se ponen rígidas de tal manera que se dificulta la acomodación del cristalino para la visión cercana y lejana. Esta es una de las razones por las cuales las personas que nunca necesitaron anteojos empiezan a usarlos hacia la mitad de su vida.

Las células del cristalino pueden también llegar a opacarse de modo que se dificulta la visión detallada; esto se conoce como cataratas. A las personas que sufren este mal puede extraérseles ordinariamente el cristalino mediante intervención quirúrgica, y restablecerse la visión efectiva mediante anteojos de compensación.

En la vista aparecen defectos si el globo del ojo es demasiado largo en relación con el tamaño del cristalino porque entonces las imágenes de los objetos cercanos caen sobre la retina, mientras las imágenes de los objetos lejanos se enfocan en frente de ésta. Se trata entonces de visión corta ó miopía, en esta circunstancia el ojo es incapaz de ver claramente objetos distantes. Si el ojo es demasiado corto para el cristalino, los objetos distantes se enfocan sobre la retina mientras que los objetos cercanos se enfocan detrás de ella (Fig. 34); se trata entonces de visión distante ó hipermetropía, caso en que la visión es escasa. Se presentan asimismo defectos en la vista cuando el cristalino ó la córnea no tienen una superficie esférica lisa. La forma inadecuada del globo del ojo ó las irregularidades de la córnea (astigmatismo) ó del cristalino pueden compensarse de ordinario por medio de anteojos (Fig. V.34).

La cantidad de luz que entra al ojo es controlada por un músculo pigmentado que tiene forma de anillo, denominado iris, y el color no tiene importancia alguna mientras el líquido sea lo suficientemente opaco para impedir el paso de la luz. El agujero del centro del iris a través del cual entra la luz al ojo es la pupila. El músculo del iris se contrae en forma refleja con la luz brillante, reduciéndose el diámetro de la pupila; esto no sólo reduce la cantidad de luz que entra al ojo, sino también dirige la luz a la parte central y más precisa, desde el punto de vista óptico, del cristalino. Y a la inversa, el iris se relaja con la luz escasa, cuando se requiere la máxima sensibilidad.

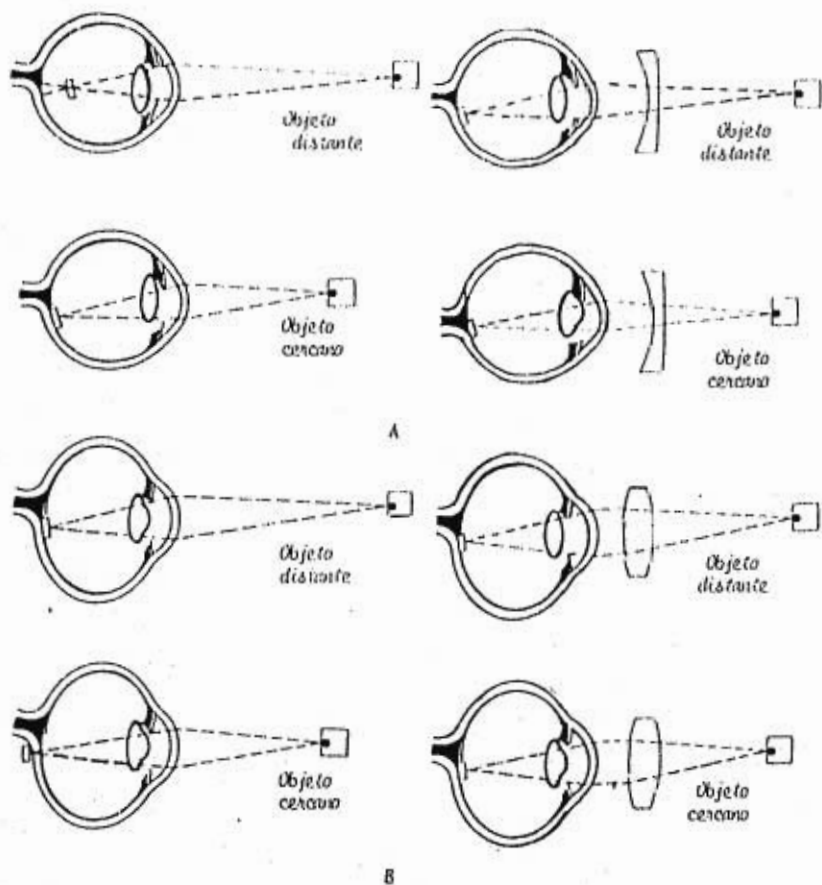


Fig. V.34.- (A) En el Ojo Míope, los Rayos de Luz de una Fuente Distante se Enfocan Delante de la Retina. Un Lente Cóncavo Colocado Delante del Ojo Dobra Hacia Afuera los Rayos de Luz, de tal Manera que Converjan Sobre la Retina. Cuando se ven Objetos Cercanos a Través de Lentes Cóncavas, el Ojo se Acomoda para Enfocar la Imágen Sobre la Retina.

(B) El Ojo Hipermetrope Debe Enfocarse para Acomodar la Imágen de los Objetos Distantes Sobre la Retina. (El Ojo Normal ve los Objetos Distantes a Través del Cristalino Estirado y Aplanado). El Poder de Acomodamiento del Cristalino es Suficiente para los Objetos Distantes, y estos se ven con Suficiente Claridad. Pero el cristalino no Logra Acomodarse Suficientemente para Enfocar Sobre la Retina los Objetos cercanos, y éstos Aparacen Borrosos. Un Lente Convexo Hace Converjer los Rayos de Luz Antes de que Entren al Ojo, y Permiten al Cristalino del Ojo Funcionar de Manera Normal.

V.6.- Células Receptoras.

Las células receptoras de la retina denominan bastones ó conos por la razón de su apariencia microscópica (Fig V.35)

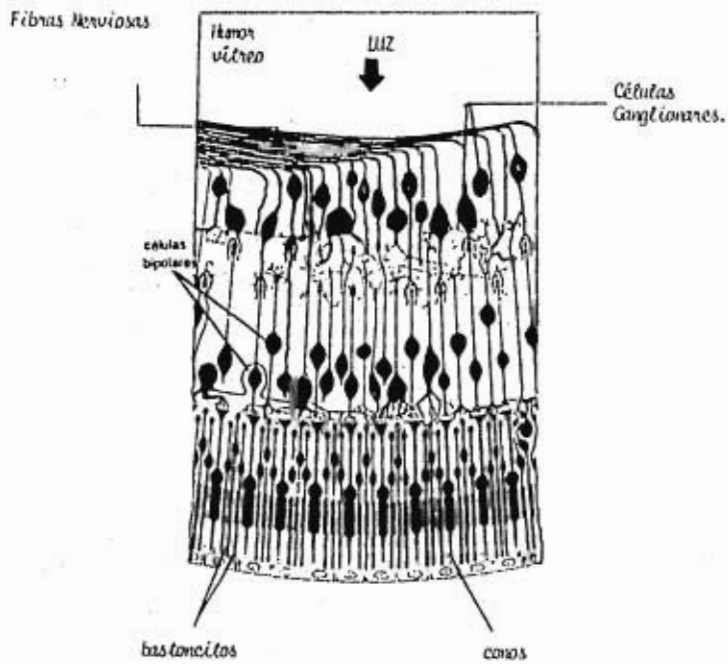


Fig. V.35.- Retina Humana. La Luz que Entra al Ojo Debe Pasar a Través de las Fibras y Células de la Retina Antes de Llegar a los Extremos Sensibles de los Bastoncillos y Conos.

Ambos tipos celulares contienen moléculas sensibles a la luz denominadas fotopigmentos, cuya principal función es la de absorber la luz. La energía lumínica hace que los fotopigmentos cambien su configuración molecular la cual, a la vez, altera las propiedades de las membranas de las células receptoras en que se hallan situadas. A diferencia de otras células receptoras que se han estudiado; la membrana, al responder a la estimulación, reduce su permeabilidad a los iones de sodio, el cual hiperpolariza la membrana de las células receptoras. Esto parece suspenderles la inhibición a otras neuronas de la vía visual. Hay cuatro clases de fotopigmentos: Uno, la rodopsina; que es muy sensible a los niveles bajos de iluminación, y tres, la eritrolaba, la clorolaba, y la cianolaba; que son sensibles a las longitudes de onda de la luz de los tres colores primarios; rojo, verde y azul, respectivamente. Los cuatro fotopigmentos constan de una proteína (la opsina) ligada a una molécula de cromóforo que está constituida por una variante de la vitamina A, pero la opsina difiere en cada uno de los cuatro tipos celulares y le da al fotopigmento las sensibilidades específicas respecto de la luz; es decir, determina si responde a cualquier luz, ó en forma selectiva a la roja, azul ó verde. La energía fónica (ó sea, la luz) actúa sobre el cromóforo, el cual se separa luego de la opsina, cambiando la configuración molecular. Después de esta degradación del fotopigmento en presencia de la luz, la molécula de cromóforo se reorganiza y se agrega nuevamente a la opsina para restablecer el fotopigmento. Así pues, la única acción de la luz en la vista es la de cambiar el cromóforo; todo lo demás que se encuentre en la secuencia que conduce a la visión (en el orden químico, fisiológico ó psicológico), es una " oscura " consecuencia de esta única reacción a la luz.

Por contener rodopsina, las células receptoras de los bastoncitos son de mucha sensibilidad, hasta el punto de ser capaces de detectar cantidades muy reducidas de luz y actuar como receptores en condiciones de iluminación escasa y en la visión nocturna. Sus respuestas que únicamente presentan sombras de color gris, no indican color sino brillo. Su agudeza; esto es, su capacidad de distinguir un punto de otro en el espacio, es muy escasa. Los bastoncitos son los más numerosos en la retina periférica, es decir, en la parte más cercana al cristalino, y se hallan ausentes del centro mismo de la retina (la fovea). Hay tres tipos de conos, cada uno de los cuales contiene uno de los tres fotopigmentos destinados a la visión de los colores. Los conos operan tan sólo a niveles altos de iluminación y son los fotoreceptores para la visión diurna.

La agudeza visual de los conos es muy alta, y por hallarse concentrados en el centro de la retina, es esta parte la que utilizamos para la visión de detalles mínimos. Cada célula receptora de la retina (sea bastoncito ó cono) hace sinapsis con una segunda neurona (una célula bipolar), la cual a su vez hace sinapsis con una célula ganglionar. Los axones de las células ganglionares forman un haz denominado nervio óptico, el cual pasa directamente hacia el interior del cerebro. Por lo general, las células receptoras de los conos tienen líneas relativamente directas que van al cerebro; esto es, cada célula bipolar recibe un estímulo sináptico de conos relativamente escasos, y cada célula ganglionar recibe estímulo sináptico de células bipolares relativamente escasas.

Esta falta relativa de convergencia suministra información precisa acerca del área de la retina que fue estimulada, pero ofrece poca oportunidad para que la adición de eventos de subumbral desencadenen la célula ganglionar. Y a la inversa, muchas células de bastoncitos convergen hacia células bipolares y ganglionares, y aunque la agudeza es poca, son buenas las oportunidades para la adición espacial y temporal.

Por lo tanto, una intensidad de estímulo de luz relativamente baja que causaría tan sólo una respuesta de subumbral en una célula ganglionar de cono, puede causar un potencial de acción en una célula ganglionar de bastoncillo. Así pues, la diferencia de agudeza y sensibilidad a la luz entre la visión de los bastoncillos y los conos se debe al menos, en parte, a los patrones de conexión anatómica de la retina.

Estas diferencias explican la razón de que los objetos de un teatro oscurecido no se distinguen y aparezcan tan sólo en sombras de color gris; con tal iluminación baja, los conos no llegan al umbral y no alcanzan a hacer fuego, de suerte que toda la visión es suministrada por la visión de los bastoncillos, la cual es más sensible pero no menos precisa. La pérdida de la agudeza visual con la escasez de luz se debe en parte al desplazamiento que se opera de los receptores de los conos a los receptores de los bastoncillos. La sensibilidad del ojo mejora después de estar a oscuras por algún tiempo, debido a la adaptación a la oscuridad. La teoría moderna de la adaptación y la oscuridad tiene todavía muchos problemas sin resolver pero en general afirma que la excitabilidad de las vías visuales de los bastoncillos depende del número de moléculas de rodopsina intactas que haya en los bastoncillos.

Frente a una luz brillante se degradan tantas moléculas de rodopsina de los bastoncillos que éstos carecen de eficiencia, y la visión se debe principalmente a la activación de los conos. Cuando la persona se desplaza de un sitio de luz brillante a un cuarto oscuro, hay relativamente pocas moléculas intactas de rodopsina, pero al regenerarse lentamente la rodopsina en la oscuridad, mejora la sensibilidad visual.

V.7.- Codificación del Sistema Visual.

Los códigos para la información aferente que conduce a la visión se han estudiado en forma considerablemente detallada. Hemos escogido, por lo tanto, la descripción más ó menos minuciosa de la codificación visual a fin de ilustrar los mecanismos generales de codificación, haciendo ver el grado de procesamiento que ocurre a cada nivel de las vías aferentes, y demostrando así la complejidad de los mecanismos de codificación. Esta exposición se basa en la investigación realizada principalmente con ranas, galos y monos, pero se aplica casi con certeza igualmente al hombre. En la mayoría de estos experimentos se proyectaron en una pantalla, frente al animal anestesiado, formas visuales simples tales como barras blancas sobre un fondo negro, mientras se registraba la actividad de las células individuales del sistema visual. Las diferentes partes de la retina podían estimularse variando la posición de la barra en la pantalla.

Nos referiremos constantemente a los campos receptivos de las neuronas que hay dentro de la vía visual y a las respuestas de estas neuronas a la luz. Es básico reconocer que solamente los bastoncillos y los conos responden directamente a la luz; todos los demás componentes de la vía se hallan sólo bajo la influencia del estímulo sináptico. Cuando se habla del campo receptivo de una neurona de la vía visual, se quiere indicar aquella área de la retina que, al ser estimulada, puede influir en la actividad de esa neurona. De manera similar, la "respuesta de la membrana a la luz" es realmente su respuesta a la actividad nerviosa que iniciada por la luz que cae en los bastoncillos y conos, se desarrolla dentro de la vía visual.

V.8. - Retina.

Se ha descubierto que aún en esta etapa temprana del sistema visual ocurre ya el procesamiento de datos en medida sorprendente. Las células ganglionares de la retina descargan en forma espontánea; es decir, hacen fuego en ausencia de cualquier estímulo de luz. Esta actividad espontánea de da a la célula una segunda señal importante con lo cual ha de trabajar; puede así aumentar ó disminuir su tasa de fuego. Cada cadena de célula receptora-célula, bipolar-célula ganglionar está sinápticamente conectada con otras cadenas similares mediante células que conducen en forma lateral a través de la retina. Estas interconexiones que ocurren a nivel tanto celular bipolar como celular ganglionar suministran las vías mediante las cuales muchas células receptoras convergen hacia una célula ganglionar. Mientras mayor es el grado de convergencia, tanto mayor es el área de la retina que puede influir en la célula ganglionar.

Los campos receptivos de las células ganglionares son circulares; es decir, cualquier luz que caiga dentro de un área circular especificada de la retina influye en la actividad de determinada célula ganglionar. La respuesta de la célula ganglionar varía notablemente según la región del campo receptivo que se estimula. Algunas células ganglionares aceleran su tasa de fuego cuando una mancha de luz se dirige al centro de su campo receptivo y reducen dicha tasa cuando se estimula la periferia, (se dice que una célula tal tiene un centro encendido). A menudo cuando se estimula la región intermedia del campo receptivo, la célula responde tanto cuando se enciende la luz como cuando se la apaga; es decir, tiene una respuesta del encendido y apagado.

Una célula ganglionar puede; por lo tanto, dar una respuesta de encendido, de apagado ó de encendido-apagado, según su campo receptivo que se estimule. Más aún, es posible modificar en gran manera el patrón básico de la actividad de las células ganglionares. Una respuesta de encendido se incrementa, ó sea, crece la frecuencia de fuego de los potenciales de acción, si es mayor la intensidad de la mancha de luz, si es mayor el diámetro de la mancha, ó si la mancha se mueve.

La respuesta de encendido disminuye si el diámetro de la mancha aumenta tanto de tamaño que llega a incluir las regiones de apagado adyacentes ó si se observa simultáneamente una segunda mancha en una región de apagado cercana. Esta gran flexibilidad del patrón de respuesta de una célula ganglionar individual indica que una serie compleja de actividades ha ocurrido aún antes de la información salir de la retina. Sin embargo, una célula ganglionar sola no puede llevar información específica. Una célula ganglionar individual puede responder con un patrón de encendido-apagado, ó sea, con dos brotes de actividad separados por una pausa corta, si es estimulada en la región apropiada de su campo receptivo. El mismo patrón de actividad ocurre cuando la mancha de luz se dirige al centro de encendido del campo receptivo y se prende y apaga dos veces, cuando la mancha de luz se dirige a la periferia de apagado del campo receptivo, y se la enciende y apaga dos veces, y cuando la mancha se dirige al centro de encendido, se la prende, y se le aumenta luego repentinamente la intensidad. El patrón de actividad que se transmite al cerebro es el mismo en los cuatro casos, pero muchas células ganglionares que responden simultáneamente, ó casi, al patrón de estímulo de sus campos receptivos individuales puede llevar una gran cantidad de información altamente

específica. Los axones de las células ganglionares forman el nervio óptico, el cual pasa al cerebro. Los nervios ópticos de ambos ojos se encuentran cerca del centro de la cabeza donde algunas de las fibras cruzan al lado opuesto del cerebro. Este cruzamiento parcial les suministra a ambos hemisferios cerebrales el estímulo procedente de ambos ojos. Después de entrar al cerebro las vías visuales pasan al núcleo geniculado lateral del tálamo.

V.9.- Corteza Visual.

La información visual parcialmente procesada se transmite a lo largo de los axones de las neuronas geniculadas laterales a la corteza visual primaria, donde continúa el procesamiento. Aunque los campos receptivos de las células ganglionares de la retina y de las neuronas geniculadas laterales sean de ordinario concéntricos, y sus centros sean de encendido ó apagado, los campos receptivos de las células de la corteza visual varían ampliamente en organización. Las células corticales se clasifican como simples ó complejas según los estímulos a los cuales respondan. Las células simples tienen campos receptivos que se dividen en regiones de apagado y encendido, pero las divisiones no son ya concéntricas, y presentan una disposición de las áreas excitatorias e inhibitorias de lado con lado, y bordes rectos más bien que circulares. La luz difusa en todo el campo receptivo no produce respuesta alguna, ó la emitida es muy escasa porque los efectos de las áreas de encendido y apagado simultáneamente estimuladas, se excluyen mutuamente. El estímulo más efectivo es el que cubre el área de encendido sin extenderse al área de apagado; por ejemplo, franjas largas y estrechas de luz, barras oscuras y rectangulares (líneas) sobre un fondo de luz, ó bordes lineales rectos entre áreas de brillo diferente. La orientación del estímulo óptimo varía de célula a célula. *¿Cómo se llega a esta profunda diferencia en la organización de los campos receptivos?* Actualmente no existe una evidencia directa que demuestre la forma en que la corteza visual traduce la información que llega, pero se han hecho algunas sugerencias.

Un segundo grupo de células de la corteza visual primaria tiene campos receptivos más complejos. En lo que a las células simples se refiere, algunas de las células complejas responden en forma óptima a una línea de orientación particular a través del campo receptivo pero, a diferencia de las células simples, las células complejas responden únicamente cuando el estímulo se halla en movimiento a través del campo visual. Las células complejas no tienen separación alguna que divida sus campos receptivos en partes inhibitorias y excitatorias. La mayoría de las células de los niveles corticales pueden recibir la influencia de uno ó otro ojo, siendo similar para ambos ojos el estímulo más efectivo en cuanto a forma, orientación y frecuencia de movimiento.

La respuesta cortical aumenta cuando se estimulan simultáneamente los dos ojos. Las células complejas activan a su vez, otras que son hipercomplejas. Las interconexiones múltiples de las vías visuales se hallan allí para suministrar un procesamiento activo de datos más bien que para la simple transmisión de potenciales de acción. Por medio de estos intrincados circuitos celulares, las células de las vías visuales responden tan sólo a rasgos seleccionados del mundo visual. Están organizadas para manipular la información de líneas, contrastes, movimientos y colores, pero no son muy buenas detectoras de intensidad. Nótese asimismo que el sistema visual, en vez de formar una imagen en el cerebro, forma mediante la activación simultánea de muchas neuronas un patrón eléctrico específicamente codificado.

V.10.- *Visión de los Colores.*

La luz es la fuente de todos los colores. Pigmentos tales como los que mezcla un pintor, sirven tan sólo para reflejar, absorber, ó transmitir diferentes longitudes de onda de luz, aunque la naturaleza de los pigmentos determina la forma en que la luz de las diferentes ondas ha de reaccionar. Por ejemplo, un objeto aparece rojo porque todas las longitudes de onda diferentes de las de 565 nm son absorbidas por el material; la luz de 565nm se refleja para excitar el fotopigmento de la retina sensible al color rojo. La luz que se percibe como color blanco es una mezcla de todas las longitudes de onda, y el color negro es la ausencia de toda luz. La sensación de cualquier color puede obtenerse mediante la mezcla apropiada de tres luces: Roja, azul y verde. La luz y pigmentos son propiedades del mundo físico, pero el color existe tan sólo como sensación en el mundo del sujeto. El problema para el científico consiste en descubrir la forma en que la percepción de un mundo abigarrado se origina en paquetes de energía fónica de longitudes de onda variables.

La visión de los colores empieza con la activación de los fotopigmentos en las células receptoras de los conos. Las retinas humanas normales encierran, como se ha visto, conos que contienen fotopigmentos sensibles al rojo y al verde, ó al azul, los cuales responden en forma óptima a las longitudes de onda de luz de 565, 540 y 435 nm, respectivamente. Aunque cada tipo de cono es excitado en la forma más eficiente por la luz de determinada longitud de onda, responde asimismo a otras longitudes; así pues, respecto de determinada longitud, los tres tipos de cono son excitados en grados diferentes. Nuestra sensación del color depende de las proporciones de salida de estos tres tipos de cono. El hecho de haber tres tipos diferentes de células de conos explica los diversos tipos de ceguera respecto de los colores. La mayor parte de la gente (más del 90% de la población masculina, y más del 99% de la población femenina) tiene una visión cromática normal; es decir, tal visión es determinada por la actividad diferencial de los tres tipos de conos. La mayor parte de la gente ciega a los colores (ó mejor, de visión defectuosa de los colores) parece carecer de uno de los tres fotopigmentos, y su visión cromática se forma; por lo tanto, mediante la actividad diferencial de los dos tipos restantes de conos.

Por ejemplo, las personas de visión defectuosa del verde ven como si tuvieran únicamente conos sensibles al rojo ó al azul. Las células que procesan la visión de los colores siguen las vías descritas anteriormente para los procesadores de líneas y contrastes. Los conos hacen sinapsis con las células bipolares, y éstas, con las células ganglionares, ocupándose simultáneamente cada célula ganglionar individual de la información de dos conjuntos de conos. Un tipo de célula ganglionar recibe estímulo de los conos del rojo y del verde. Los estímulos son aditivos de tal manera que la célula ganglionar responde más activamente cuando está recibiendo el estímulo de los conos activados del rojo y el verde que cuando recibe el estímulo del rojo ó del verde solamente. La respuesta de estas células recibe también gran influencia de la intensidad ó brillo de la luz. En efecto, cuando la intensidad es suficientemente grande, estas células responden a las longitudes de onda de todo el espectro. Codifican el brillo más bien que los colores específicos. Un segundo tipo de célula ganglionar codifica colores específicos y se denomina célula de colores opuestos. Estas células reciben estímulo excitatorio de uno de los tres tipos de cono, y estímulo inhibitorio de otro.

Las células ganglionares de la retina se proyectan a las células geniculadas laterales del tálamo donde una gran parte de las células son del tipo de color opuesto. Algunas de las células tienen una disposición de centro-contornos con relación a sus campos receptivos. Por ejemplo, una luz roja en el centro de su campo receptivo aumenta su actividad, y una luz verde en la periferia del campo receptivo disminuye la actividad celular.

Este aspecto opuesto de la visión cromática significa que la percepción de un miembro del par se asocia con la disminución de sensibilidad al otro. Por ejemplo, la actividad neurónica que origina la percepción del verde inhibe las vías a la percepción del rojo. Este mecanismo de la célula opuesta explica los colores inducidos que aparecen en las post-ímagenes. Si se fija durante 20 segundos la vista en un punto negro situado en el centro de tres cuadrados concéntricos, el primero verde, el segundo amarillo y el tercero gris, e inmediatamente después se le fija en una superficie blanca, la post-imagen será la de un cuadrado rojo bordeado de azul porque el retiro de la imágenes verdes y amarillas permite que se perciban los miembros rojo y azul del par, por uno ó dos instantes, al desaparecer la inhibición.

Como se dijo anteriormente, la ceguera humana al color rojo que es relativamente frecuente, se ha atribuido a un fotopigmento que se forma de manera anormal; ó bien, falta en una de las células de los conos, pero puede obedecer también a la escasez de células opuestas de rojo y verde. Así pues, un tipo de conducta de pulsión-tracción, en que las neuronas apareadas responden en direcciones opuestas, es un rasgo común del sistema de codificación visual. Una célula responde cuando se enciende la luz, la otra cuando se la apaga; una célula es sensible a la iluminación del centro del campo receptivo, la otra a la luz de la periferia; una es sensible al rojo, la otra al verde; una es excitatoria, la otra inhibitoria. Los pares de neuronas que tienen conductas opuestas destacan los contrastes de los estímulos visuales; gran parte de nuestra percepción visual depende de tales contrastes.

V.11.- Control del Movimiento Ocular.

Los conos se hallan altamente concentrados en un área especializada de la retina conocida como fovea, y las imágenes enfocadas allí se ven con agudeza máxima. A fin de mantener la imagen visual enfocada en la fovea, los músculos oculares realizan cuatro tipos principales de movimientos:

1.- *Búsqueda de blancos oculares.*- Este tipo de movimiento denominado sacádico es una sacudida limitada y rápida. Además de buscar el campo visual mueve la imagen que hay en los receptores a fin de impedir la adaptación. En efecto, si se detienen tales movimientos oculares, bastan pocos segundos para que se desvanezcan los colores y la mayoría de los detalles. Dichos movimientos sacádicos se hallan entre los más rápidos del cuerpo. Este patrón de periodos de fijación rápida interrumpida por cambios instantáneos ocurre, por ejemplo, mientras se examina un objeto ó se lee algo. Aunque estos movimientos generalmente son modificados por la información visual, ocurren también durante ciertos periodos de sueño cuando los ojos están cerrados. Tal vez se asocien en ese caso con la "observación" de las imágenes visuales de los sueños.

2- *Seguimientos de objetos visuales.*- Estos movimientos suaves hacen que los ojos sigan un objeto en caso de moverse éste a través del campo visual. Requieren una realimentación continua de la información visual acerca del objeto en movimiento.

3- *Compensación de los movimientos de la cabeza* - Si se enfoca un objeto visual estacionario en la fovea, y la cabeza se mueve hacia la izquierda, los ojos deben moverse en igual medida hacia la derecha en caso de que la imagen del objeto haya de permanecer enfocada en la fovea; si la cabeza se mueve hacia arriba, los ojos deben moverse hacia abajo.

4- *Convergencia.*- Este tipo de movimiento se utiliza para seguir un objeto en la profundidad del campo visual, torciendo los ojos hacia adentro cuando el objeto se acerca, y hacia afuera cuando se aleja.

Los cuatro tipos de movimientos parecen estar controlados por sistemas nerviosos separados aunque colaboran casi en todos los movimientos oculares. A excepción de aquellos movimientos oculares que compensan los movimientos de la cabeza, los sistemas de control dependen de la información procedente de la retina. Los movimientos de compensación obtienen su información acerca del movimiento de la cabeza, de los canales semicirculares del sistema vestibular, el cual se explicará brevemente.

Los movimientos oculares desempeñan pues, varias funciones importantes pero presentan el problema de la localización del estímulo. Por ejemplo, cuando los ojos y la cabeza permanecen estacionarios, la imagen de un objeto en movimiento se desplaza a través de los receptores y da origen a señales procedentes de las retinas. Recuérdese que la mayoría de las neuronas de las vías visuales hacen fuego a tasas diferentes, en respuesta a los estímulos en movimiento ó estacionarios. Cuando los ojos siguen un objeto en movimiento, la imagen permanece sin embargo, relativamente estacionaria en la retina sin que ésta pueda indicar movimiento alguno. Dado que vemos todavía el movimiento del objeto, la rotación de los ojos en la cabeza puede permitir evidentemente la percepción del movimiento y apreciaciones más ó menos exactas de la velocidad. Además, cuando hay movimiento debe determinarse lo que se mueve y lo que permanece estacionario con relación a algún marco de referencia. Un ejemplo evidente se presenta cuando quieramos cambiar de posición al caminar ó al manejar un vehículo. Generalmente sabemos que el cambio se debe al movimiento de nuestro cuerpo y no al del mundo externo, pero ello implica una determinación. Si la información relacionada con el movimiento se conoce tan sólo por la visión, generalmente presunimos que los objetos mayores del campo visual están estacionarios.

V.12.- *Hacia la Construcción de una Retina Artificial.*

Seguramente que para muchas personas este tema de la construcción de una retina artificial parecería un tanto de ciencia ficción ó de difícil credibilidad. Sin embargo, todo lo anterior podrá ser posible a través de una Prótesis de Retina Artificial (PRA) habilitada con todas sus funciones biológicas naturales.

En el largo plazo la Visión Electrónica será una realidad. Existen tres tipos de rehabilitación de la visión que actualmente son investigados, cada una teniendo sus objetivos y patrones de desarrollo y éstos son:

1.- *Mejorar la Visión.*- Se refiere a cada uno de los procesos de ayuda para delinear la imagen con el máximo de visibilidad, y también presentar la información a la retina lo más pulcra posible.

2.- *Comprender la Visión.*- Esto se refiere a una labor de procesamiento visual de la información que llega hacia la zona interna de la retina al igual que las rutas de estimulación eléctrica de las neuronas involucradas en el proceso.

3.- *Visión Artificial.*- La cual procesa e interpreta la información visual y representa los resultados de manera sensorial.

Los tres métodos anteriores pueden reducir la información de la imagen a símbolos ó a una forma esquemática antes de ser presentada como tal información de tipo visual, aunque las tres condiciones anteriores no son obligatorias para mejorar la Visión de tipo Artificial.

Se debe notar que la debilidad visual es sólo un término cualitativo. Una persona débil visualmente no puede por lo general realizar actividades que involucren la utilización normal del sentido de la vista, ya que es una condición que en la actualidad es imposible de corregir desde el punto de vista médico, quirúrgico ó con el uso de lentes.

En la práctica, esto incluye a cualquier persona que se le tenga que hacer una corrección de exactitud visual de 20/40 ó peor en el ojo que mejores condiciones visuales presente, con restricciones en el campo visual ó con problemas de contraste de imágenes (es decir, una imagen bastante borrosa).

Las funciones esenciales requeridas para una Prótesis de Retina Artificial (PRA), que pueda usarse con relativo éxito implican que el ojo humano esté intacto. Adicionalmente se da una pequeña lista de características para cualquier tipo de Sistema Avanzado de Visión, entre las cuales deben considerarse las siguientes:

a). *Verificación de la Posición del Ojo.*- La información exacta en tiempo real acerca de la dirección de la mirada puede ser usada para controlar una cámara, reubicar la imagen y traducir ésta hacia la Prótesis de Retina Artificial.

b). *Rango de Precisión Dinámico.*- El sistema requiere un mecanismo que le permita operar en diversos rangos y niveles de iluminación, desde un brillo intenso hasta casi la total oscuridad; y de igual forma, con luz natural que con iluminación artificial. En la actualidad, los controles automáticos de ganancia de iluminación de las cámaras convencionales no satisfacen esos requerimientos de forma ideal. Sin embargo, el avance que se tiene en los sistemas de conversión de señales de Analógico a Digital (A/D) ó de Digital a Analógico (D/A), están por dar un buen resultado en este sentido. Ya que se

pretende construir Circuitos de Visión Neurofuncionales en un futuro, los cuales permitirán obtener estos beneficios.

c) *Mejoras en el Contraste Local de Imágenes.* - Normalmente, las mejoras en el contraste sólo son posibles en pequeños rangos; sin embargo, logrando combinaciones de estos rangos y llevándolos a la condición de saturación es posible "barrer" área más completas y de mejor manera. Lo cual permite tener una mejor definición en el espectro de señales visibles a el ojo humano. Ya que todavía no se tiene un filtro de señales del espectro visible construido sobre un Circuito Integrado, los grados de exactitud en el contraste siguen siendo los naturalmente proporcionados por el ojo y cerebro humano; sin embargo, una vez que se pueda tener un arreglo de filtros especiales, se podrá tener un porcentaje de precisión de la visión muy cercano al 100%.

De hecho los nuevos descubrimientos y aplicaciones en la computación aplicada a la óptica, se perfilan a poder resolver este problema en el corto plazo y dar los resultados en tiempo real.

d) *Reubicación de Imágenes.* - Esta característica es crucial si una persona con baja visión en ambos ojos, ó en cualquiera de los ojos que tenga un grado (relativo) mayor de visión. Las manchas en la visión pueden oscurecer información de tipo vital que debería llegar al cerebro; por ejemplo, la aproximación de un vehículo. Sin embargo, la Prótesis de Retina Artificial deberá ser capaz de eliminar las "manchas de coquera" de tal suerte que no interfieran en la información que llegue al cerebro. Obviamente, será necesario que los usuarios de la PRA tendrán que acostumbrarse a ver sin manchas en un período significativamente corto; aunque debe quedar claro que el éxito de la Prótesis de Retina Artificial (PRA), estará en función del daño real que haya tenido el paciente.

También, el sistema necesita de un mapa de exactitud sobre los campos visuales, y de información al instante acerca de la posición de los ojos. La reubicación real y exacta de imágenes, puede ser necesaria para individuos que tengan de antemano, problemas de distorsión de imágenes, para los cuales existirá un algoritmo de compensación. En este caso, el sistema necesitará un mapa de calibración contra las distorsiones, el cual puede ser obtenido a través de pruebas de alineamiento de puntos ó sobre una pantalla con un patrón regular de funciones el cual tenga un estricto control del movimiento ocular.

e) *Posibles Usuarios.* - Una vez conocidas las características, potencial y funciones de el sistema, puede adaptarse a las necesidades de los usuarios y beneficiar de manera significativa las capacidades visuales. Sin embargo, se debe analizar caso por caso en su utilización, ya que cada individuo presentará diferencias en cuanto a defectos visuales alternos (tales como miopía, hipermetropía, astigmatismo, glaucoma, etc.) los cuales tendrán un valor definitivo en el resultado de éxito ó fracaso que pueda y deba tener la Prótesis de Retina Artificial.

Dependiendo de la configuración de el sistema, las características y funciones deseables ocherán ubicarse en la factibilidad del proyecto. Lo primero corresponde al juego de funciones e instrucciones que la PRA debe cumplir, esto comienza con un mecanismo de servocontrol de las cámaras y del rayo de luz infrarrojo que envía los datos y potencia (si la cámara es externa) para cada posición del ojo. De igual forma, la alta resolución de las imágenes capturadas por el Circuito Integrado (Microprocesador) debe ser lo más exacta posible para evitar distorsión y envío de señales equivocadas al

cerebro, en este punto es esencial el procesamiento correcto por parte de la retina para evitar problemas. Entonces, para mejorar la visión, las necesidades son más "familiares", involucrando Displays y dispositivos de proyección óptica (estos pueden ser los llamados Tubos de Rayos Catódicos ó los Sistemas de Visualización de Corriente Electrónica), ya que tienen una mejor resolución en cuanto a líneas visibles por imagen, una mayor área de pantalla y un alto contraste (definición de imagen); sin embargo, el peso y ancho de dichos dispositivos en la actualidad, los hacen inconvenientes como sistemas estacionarios y portátiles al mismo tiempo. Pero, las investigaciones que se están llevando a cabo en la construcción de los Display's con tecnología plana, abren la posibilidad para que en el próximo milenio puedan producirse y fabricarse estos elementos de alta resolución y alta definición de pantalla con un ancho de un centímetro y un precio bastante competitivo en el mercado de los dispositivos electrónicos de miniatura.

V.13.- Circuitos Integrados para la Visión a Partir de una Prótesis de Retina Artificial.

El sueño de construir máquinas que semejen el comportamiento de animales y sus habilidades, así como las características más comunes del hombre; está muy pronto de ser realizado. Con la llegada de computadores digitales económicos y potentes, este sueño se está volviendo realidad. Los computadores actuales pueden procesar en un sólo segundo 22 Mega Bytes de información. La necesidad de procesar, almacenar y clasificar grandes cantidades de información, es quizá lo que ha impedido el desarrollo de máquinas de visión.

Desde hace una década a la fecha, la investigación en los laboratorios de muchas Universidades, acerca del comportamiento y funcionamiento de los circuitos biológicos y los principios que manejan la visión y las habilidades de esa visión en aves, gatos, chimpancés y en el hombre han comenzado. Al mismo tiempo, la complejidad de la circuitería que sobre un circuito construido en una base de silicio puede soportar múltiples funciones y aplicaciones, también ha comenzado. Esto quiere decir que, tanto la investigación como la construcción de sistemas van avanzando al mismo tiempo, lo que permite suponer que al cabo de algunos años se tendrá el Circuito Integrado (con su Microprocesador incluido), capaz de resolver los problemas de microelectrónica que se tienen en la actualidad. Con esto es posible afirmar y asegurar que la Prótesis de Retina Artificial (PRA) se construirá a bajo costo (relativamente) y en poco espacio. Un Circuito Integrado de este tipo llamado " Neurocircuito " consiste de arreglos de fotosensores combinados con circuitería de tipo analógico y elementos de definición (llamados "pixels") en un arreglo semejante a una retina vertebral. Más específicamente, el senso, semejante a la retina, puede adaptar de forma local los vastos cambios en brillantez, puede detectar límites, puede captar cambios temporales de señales y puede detectar movimiento(s). Hasta que recientemente, los Circuitos Integrados de Visión de este tipo fueron curiosidades de laboratorio. Ahora, hay demasiados CI's que permiten realizar actividades bastante complejas.

V.14.- Sensores no Convencionales.

Funcionalmente, los Circuitos Integrados de Neurovisión, hacen que una cámara en combinación con una computadora ejecute algún programa dedicado a la visión, quizá un algoritmo para detectar límites, puntos, líneas ó áreas. Los sistemas de Neurovisión, semejantes a el Sistema Nervioso Central; usan masivamente procesamiento de la información del tipo paralelo, análogo, abierto y colectivo; exactamente igual al sistema básico de procesamiento de símbolos y de números que se usa actualmente en los sistemas de Inteligencia Artificial y de Visión Artificial de los Automatas Programables utilizados en el Control de Procesos Industriales Modernos.

Las características anteriormente señaladas, pueden implementar varios tipos de operaciones matemáticas que ocurren durante el proceso de visión, como normalmente se le llama al efecto de " ver ". La primer reflexión que hoy en día tienen los Ingenieros, es alrededor de cómo "digitalizar" las señales que se manejan en el proceso de la visión (tarea nada fácil si se considera la complejidad que encierra la función " ver "), via los circuitos de Neurovisión. El objetivo es simplemente, codificar y decodificar las señales y funciones de la visión. Esto es importante debido a que el brillo de una imagen es continuo en el tiempo y en amplitud.

Cuando algunos circuitos analógicos se integran en 2 Dimensiones con arreglos especiales de fotosensores; el resultado en la retina, es el de capturar la imagen sin una resolución digitalizada completa, que involucre los cientos de millones de operaciones de punto flotante por segundo que tendrían que ejecutarse en un circuito digital completo; tal como lo hace en realidad el sistema de 3 Dimensiones natural del ojo. Además, el Circuito Integrado que logre este objetivo no deberá exceder de 1 cm².

Antes de que estos dispositivos puedan ser construidos, muchos subsistemas deberán ser diseñados. Los fotoreceptores son necesarios para lograr sensar la intensidad de las imágenes en varios órdenes de magnitud que van desde la iluminación máxima, pasando por la penumbra, hasta la oscuridad total.

Celdas con resistencias del tipo lineal y no-lineal deben filtrar la imagen de tal forma que se reduzca el ruido presente en el acoplamiento y detección de ciertas características de las imágenes, tales como los bordes. Además, cuando se inicia la comunicación entre los circuitos de visión, los Protocolos son necesarios para controlar el flujo de información visual entre los Circuitos Integrados. Los sensores de velocidad tienen como objetivo detectar el movimiento de la escena que se " ve ". Finalmente, los Circuitos Integrados deben ser capaces de adaptar sus salidas al ancho de variaciones en los parámetros de visión, que presenta el uso de Circuitos Integrados que están "aprendiendo" a ver. (Se debe entender que en este proceso de aprendizaje, no se incluyen todos los Circuitos Integrados dedicados a manejar los algoritmos dentro de la Protésis de Retina Artificial; sólo deben " aprender " algunos.

El último proceso que tiene la imagen sobre el mismo plano físico es el de enfocar y calibrar correctamente la imagen (lo que se denomina como procesar la señal en el plano focal).

Por otra parte, los circuitos de procesamiento de señales, toman como objetivo fundamental el digitalizar las salidas que se tienen en la cámara y las cuales aplican sobre un algoritmo de visión particular, sobre cada uno de los elementos de visión (pixel) en la imagen, de manera secuencial.

V.15.- Fotoreceptores Adaptativos.

Hoy en día, hay dos aproximaciones para la precisión de las imágenes. La primera son sensores basados sobre Equipos de Carga Acoplados (CCD), los cuales dominan el mercado de consumo. Estos dispositivos sensan la intensidad de la luz mediante la integración de una fotocarga en el tiempo en un rango de entre 800 X 600 " pixeles ". Las salidas continuamente evaluadas y digitalizadas en el tiempo, constituyen la salida de la cámara. Toda esta información es virtualmente " agarrada " sobre una tarjeta de control, en la cual la amplitud de la señal recibida es digitalizada (usualmente por 8 bits ó 256 niveles de de resolución), para su posterior análisis. La amplitud de luz en el mundo natural: sin embargo, gira alrededor de 8 órdenes de magnitud que van desde la penumbra hasta un día completamente soleado, mientras que el rango dinámico de los CDD es desafortunadamente mucho menor. Cuando el rango dinámico requerido para procesar imágenes excede la capacidad del CCD, la imagen es recortada, y un disparate visual puede ocurrir cuando la carga sobre un "pixel" excede su capacidad de retención y el exceso se pierde dentro del rango posible de resolución en "pixeles" del sistema. Una región cortada en la imagen será uniformemente blanco, sin detalles aparentes. Un exceso ó desbordamiento se manifiesta asimismo por una línea blanca en la imagen, creada por el exceso de carga que cae desde el "pixel" de brillo y a lo largo del contorno de la imagen.

El remedio que usualmente para un rango dinámico limitado es incluir un control automático de ganancia. En este caso, un iris mecánico servirá, ya que con esto el efecto de integración en el tiempo para la imagen, puede ser ajustado con el control de brillo de la imagen.

Algunas criaturas biológicas, en los fotoreceptores naturales que tienen en sus ojos sensan la intensidad continuamente en el tiempo y adaptan hacia la una imagen local específica en intensidad; las dos condiciones importantes: Espacio y tiempo. Esto lo logran maximizando el rango dinámico de recepción. Fotoreceptores artificiales con propiedades muy similares pueden ser construidos usando dispositivos CMOS.

Un simple fotodiodo puede desde el enfoque logarítmico, comprimir una fotocorriente que hay en una señal de voltaje, pero su respuesta es muy pequeña para bajas intensidades. Este problema puede resolverse satisfactoriamente utilizando fotoreceptores de alta calidad. Por lo tanto, se puede establecer que la resolución de imágenes es otra importante diferencia entre sistemas de visión natural y los de visión artificial. Mientras que nosotros los primates al utilizar nuestro sentido de la vista, utilizamos entre uno y dos millones de fotoreceptores, otros animales necesitan mucho menos de esa cantidad. Muchos insectos que utilizan la visión para encontrar comida y otros animales y que, además evitan a sus depredadores y obstáculos tienen efectivamente, 10 000 ó menos " pixeles " con los cuales se pueden adaptar a su medio ambiente.

V.16.- Digitalización de las Imágenes con Rejillas Resistivas.

En la retina " viva ", la salida de los fotorreceptores es alimentada a una red de celdas que extiende la señal horizontalmente dentro de la retina. Una estrategia similar ha sido adoptada en muchos Circuitos Integrados para Visión Artificial, donde las salidas del fotorreceptor son alimentadas en un espacio de 2 Dimensiones ó en una rejilla resistiva hexagonal.

Redes resistivas son una parte esencial del repertorio de la Ingeniería de Visión Artificial, porque se implementan operaciones particulares de filtrado. Se asume, que los valores de las baterías E, unidas en un nodo en una rejilla resistiva rectangular (fig. V.36) son proporcionales a la intensidad de la imagen en esa localidad específica. Cuando el voltaje V, en cada uno de los nodos puede ser considerado a ser un resultado promedio de la corriente entre la batería y el nodo, y las corrientes cruzan las cuatro resistencias R, conectando el nodo con sus vecinos. Decrementando R se incrementa la corriente dentro de la rejilla.

Las propiedades de filtrado de una rejilla análoga de muy alta escala de integración (VLSI) están demostradas en la fig. V.37. Porque las capacitancias parásitas son pequeñas (el valor está calculado en menos de $5 \mu S$), lo anterior es una gran ventaja en lo que se refiere al manejo de la Visión Artificial.

Implementando el filtrado por el Teorema de la Convolución, mediante un computador digital es muy exacto, pero puede tener un porcentaje mínimo de error. Implementando los filtros de 2 Dimensiones usados en los algoritmos de Visión Artificial, requieren 4 multiplicaciones, sumas ó divisiones por " pixel ". Sin embargo, el costo total por el filtrado lineal con un número específico de " pixeles ", hace todavía bastante caros a los algoritmos de Visión Artificial en términos de ciclos de máquina.

El tiempo de convergencia de una red de resistencias depende sólo del tamaño de la imagen a visualizar. Implementando el filtrado por el Teorema de la Convolución, mediante un computador digital es muy exacto, pero puede tener un porcentaje mínimo de error. Implementando los filtros de 2 Dimensiones usados en los algoritmos de Visión Artificial, requieren 4 multiplicaciones, sumas ó divisiones por " pixel ". Sin embargo, el costo total por el filtrado lineal con un número específico de " pixeles ", hace todavía bastante caros a los algoritmos de Visión Artificial en términos de ciclos de máquina. El tiempo de convergencia de una red de resistencias depende sólo del tamaño de la imagen a visualizar.

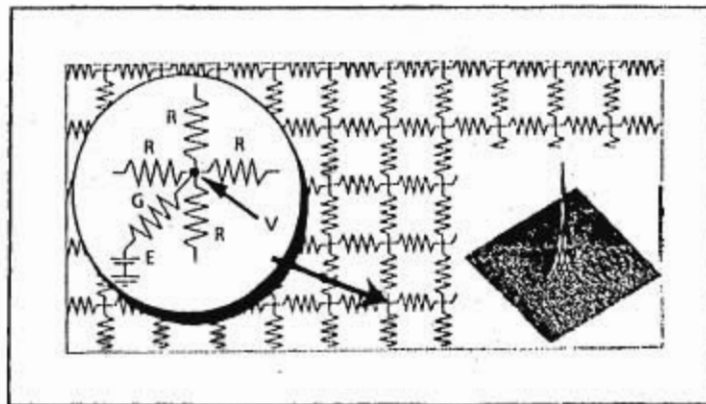


Fig V.36.- Una rejilla resistiva es parte fundamental de los circuitos de Visión Artificial.

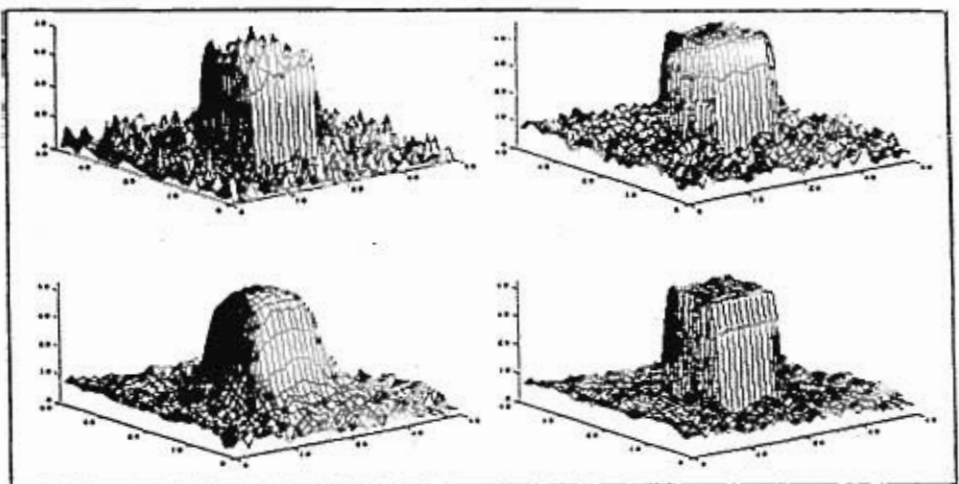


Fig. V.37.- Propiedades de Filtrado en una Red Analógica Construida a Partir de Circuitos de Muy Alto Nivel de Integración (VLSI).

Un dato muy interesante, la utilización de resistencias y baterías para operar información no es algo nuevo, ya que los ingenieros de los años 40 y 50's, utilizaban esta técnica. En ese tiempo, las computadoras digitales solo pudieron ser una ayuda parcial en la solución de problemas, y los ingenieros sólo podían resolver algunos problemas. Hoy en día, las computadoras analógicas están haciendo un limitado respaldo de la información y la simulación de los problemas a resolverse con los computadores digitales; pero están permitiendo aplicaciones que requieren un alto grado de operaciones y cálculos para ser utilizados de una manera paralela en un Circuito Integrado Híbrido (con consideraciones digitales y analógicas)

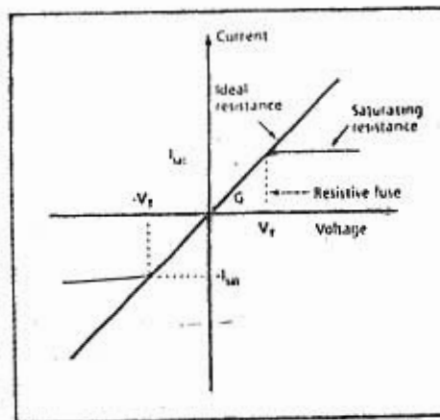


Fig. V.38.- Una Resistencia Ideal. La Corriente es siempre Proporcional al Gradiente de el Voltaje.

V.17.- Procesamiento de la Retina

La habilidad para detectar la localización de líneas y otras características marcadas en una imagen es una habilidad de los sistemas visuales biológicos. Redes resistivas puede hacer lo mismo si cada uno de los "píxeles", la corriente eléctrica que atraviesa la Conductancia G es una salida leída por el Voltaje V . La corriente será grande si en los nodos las entradas de voltaje es muy diferente al promedio de voltaje sobre la red, y se cierra a cero si la entrada varía un poco desde el valor promedio de la red. Por lo tanto, la nueva configuración sirve como un Filtro Paso Altas que afina cambios abruptos como son los filos ó ejes de las imágenes.

En una retina de silicón, un fotoreceptor logarítmico aparece en cada una de las localidades, y la salida es una versión de la señal de entrada filtrada por un circuito Filtro Paso Altas con límites ó bordes entrelazados. La retina permite también una adaptación local de espacio e indicará si hay alguna desviación de cualquiera de los "píxeles" con respecto a sus vecinos

La retina de silicón permite diseñar sobre los principios de la retina natural de los vertebrados, esta posibilidad de diseño radica en que en realidad la ganancia local es inversamente proporcional a la intensidad de la imagen local, produciendo una salida proporcional con el contraste local. Por lo tanto, se puede concluir que a la salida de una cámara de un CCD falta el rango dinámico que representa simultáneamente en la imagen, porciones de brillo y oscuridad. En este caso, una etapa de reconocimiento es la que sirve a la retina de silicón como identificación para los bordes de las imágenes.

| | Cell size in μm^2 | Special functions | Digital operations No. per pixel | Transistors | Pixels use Capacitance? |
|---------------------------------|---------------------------------|--|-------------------------------------|-------------|----------------------------|
| Digital | | | | | |
| CCD imager | 7 x 7 | — | — | — | N |
| CMOS imager | 15 x 15 | • Amplification | — | 1 | N |
| Analog | | | | | |
| Silicon retina | 90 x 90 | • Log compression • Spatial high-pass | 4m + 2 | 25 | N |
| Temporal derivative retina | 52 x 52 | • Adaptive photo-receptor • Temporal derivative | 6 | 5 | Y |
| Current-mode retina | 40 x 44 | • Log compression • Spatiotemporal bandpass | 4m + 2 | 12 | N |
| Segmentation and smoothing chip | 87 x 87 | • Smoothing with horizontal line discontinuity | O(6m - 4) | 41 | N |
| Outlier detection chip | 78 x 78 | • Smoothing with vertical line discontinuity | O(4m + 1) | 26 | N |
| Optical flow chip | 160 x 160 | • Adaptive photo-receptor • Velocity estimate | 3m + 21 | 42 | Y |
| Other | | | | | |
| Cellular neural network chip | 310 x 350 | Large class of image-processing operations | O(18) | 203 | Y |

Fig. V.39.- Comparativo de los Circuitos Integrados Utilizados en Visión Artificial.

V.18.- Movimiento.

Para resumir, en la actualidad es posible construir Circuitos Integrados que capturen la imagen de una manera adaptativa, y filtren algunas de sus características; como por ejemplo, los bordes. En el mundo real; sin embargo, tanto los objetos como los sensores en el medio ambiente se mueven, muchas veces demasiado rápido. Por lo tanto, el siguiente paso es la detección del movimiento mediante las salidas que se tengan de la imagen por un promedio estimado formado por el campo visual asociado a éste; este campo es la salida de un algoritmo de Visión ó de un circuito que asigna un vector para cada una de las localidades en una imagen, para indicar en qué dirección las intensidades de la imagen se han movido durante el intervalo precedente.

Mientras que en principio muchos tipos de sensores pueden detectar movimiento, éstos tienen muchas desventajas. Por ejemplo, un radar desorientado en un ambiente de confusión no funciona; es decir, da información de posiciones irreales al mando maestro, lo que origina identificación de blancos no existentes. Mientras que un giroscopio puede identificar solamente su propio movimiento, pero eso no garantiza que detecte otros objetos en movimiento y rotación.

Los Circuitos Integrados para la Visión, prometen estimular su propio movimiento tan bien como los objetos visualizados puedan moverse dentro de su campo de visión. El objetivo es que puedan hacer eso en un sólo paso, a un bajo costo y sin crear conflictos de compatibilidad con otros circuitos manufacturados para este fin. Usado correctamente, el Circuito Integrado de Visión Artificial puede estimar cuándo el sensor chocará con un objeto cercano, semejante a un automóvil, y en qué dirección el sensor se está moviendo, y esto puede alertar a el usuario para detectar cualquier otro objeto que se esté moviendo en la escena (por ejemplo, un intruso). Los métodos estándar de Visión pueden contar con la evaluación de radios y derivaciones temporales de la intensidad en la imagen y por lo tanto no prestar a asimismo implementación analógica, para la cual hay escases de una precisión numérica confiable.

El problema es construir un sensor que cuando mida la velocidad no entre en ambigüedad, independientemente de el nivel de brillo ó oscuridad y el contraste en el estímulo, y sobre el ancho de banda de la velocidad. Este circuito trabaja por la detección de un " evento " en la imagen sobre un " pixel " y por el tiempo que toma la ejecución de dicho " evento ". Supóngase que dicho " evento " es un incremento ó decremento abrupto en la intensidad de la imagen. Su detección en algún " pixel " dispara al amplificador que tratará de limitar el decaimiento de la señal para poder registrarla. Cuando la detección de un "evento" en un " pixel " vecino, presumiblemente debido al movimiento de una imagen con las mismas características a una nueva posición; genera un pulso rápido, lo cual es simplemente una caída de la primera. La amplitud de la señal de voltaje indica la velocidad con la cual el " evento " se mueve entre los dos " pixeles ".

La forma del pulso de voltaje que representa la decaída produce una dependencia logarítmica de la salida de voltaje sobre la velocidad de la imagen sobre al menos tres órdenes de magnitud. Permitiendo un algoritmo digital equivalente requerirla alrededor de 50 operaciones en cada " pixel ", cada una de las cuales agregaría una cantidad cuando se analice el movimiento en grandes señales.

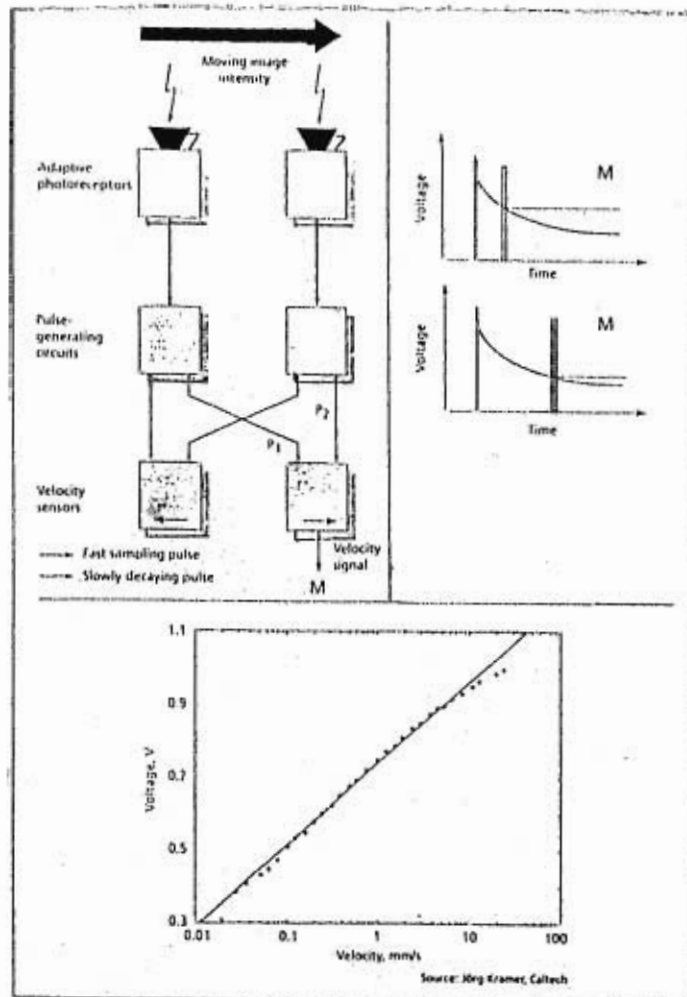


Fig. V.40.- Circuito Analógico que Verifica la Velocidad con Ayuda de Fotoreceptores Adaptativos.

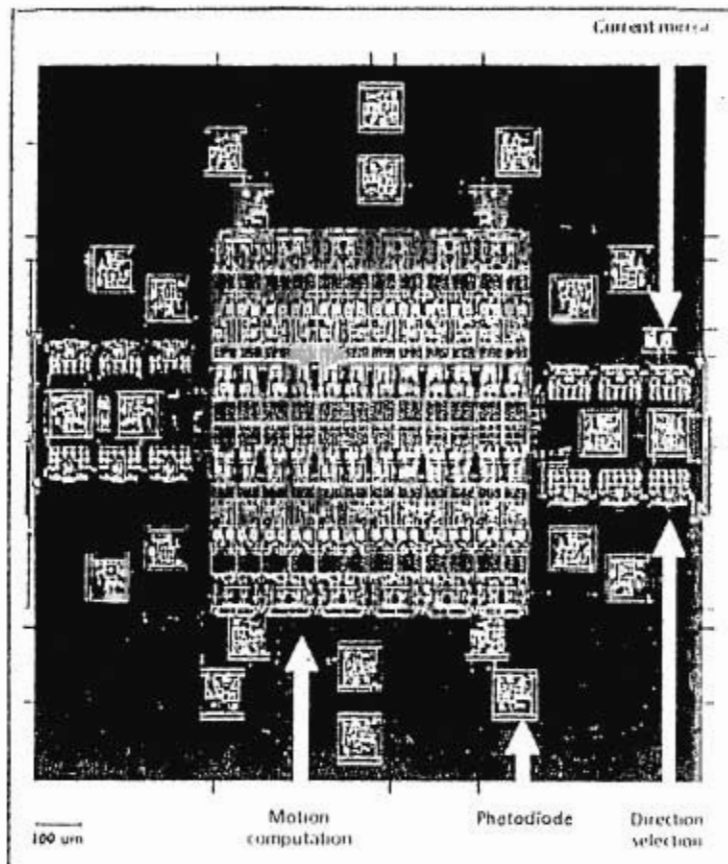


Fig. V 41.- El Circuito Controla el Tiempo de Contacto entre el Observador y el Objeto Cercano a ser Visualizado

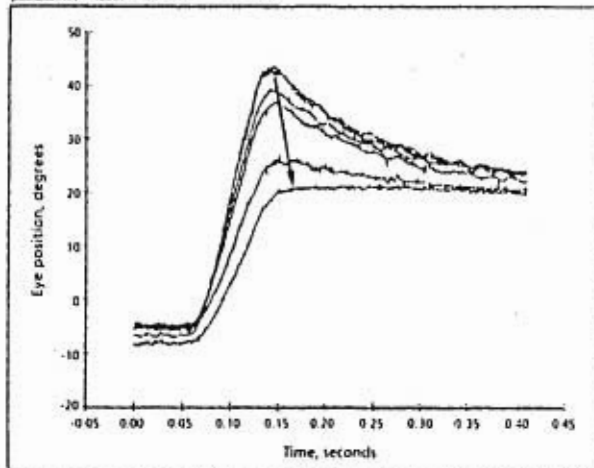
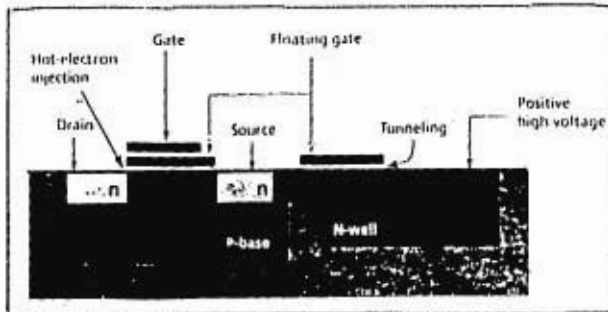


Fig V. 42.- Transistor MOS Durante el Proceso de Aprendizaje Mediante Sinapsis.

Porque debido a su naturaleza compacta, los sensores de velocidad pueden formar arreglos muy densos (por ejemplo, 128×128 "pixeles" diseñado en un proceso CMOS de $0.7 \mu\text{m}$). Esta densidad es más que adecuada para una evaluación de características notables acerca de los dispositivos de Visión Artificial en tiempo real.

Una característica importante radica en estimar el tiempo en que un objeto se pueda aproximar a velocidad constante, antes de chocar con el observador. Analizar este tiempo de contacto requiere solamente de la integración de la señal de salida de velocidad de los sensores arreglo agrupados en un dispositivo. Un simple sensor de bajo costo con su circuitería propia de un fotoreceptor, puede ayudar a autos ó robots a no chocar. Todo esto en menos de 10 milímetros de silicio.

V.19.- *Implante Ocular para la Ceguera.*

La retina, al igual que el Sistema Nervioso General en un adulto, no puede regenerarse y compensarse bien por algún daño ó deterioro. Particularmente vulnerables son los conos sensores de luz y los conos receptores, ambos localizados en la parte trasera de la retina, la cual puede sufrir una degeneración muscular, una función anormal hereditaria baja (como por ejemplo, la retinitis pigmentosa) ó exposición al LASER en guerra ó en el trabajo. Ahora, la electrónica da una esperanza para resolver estos padecimientos.

Una lesión a la retina, usualmente da una visión anómala, y cuando se da una terapia de rehabilitación general, se producen avances muy modestos. En casos de enfermedades degenerativas del ojo, dispositivos especiales pueden ayudar a resolverlos, pero todavía hay mucho por hacer e investigar. En el largo andar de la humanidad, la terapia genética molecular trata de limitar el daño ó restablecer la función, pero esta técnica todavía no logra corregir en su totalidad los problemas. En la actualidad, una buena terapia nutricional y médica proporcionan sólo soluciones limitadas. En el futuro, sin embargo, los implantes electrónicos pueden ser la mejor esperanza para solucionar los problemas de retina. Una retina artificial ó una prótesis, mejoraría la vida de algunos pacientes.

Pero el intento de realizar un implante de retina también requiere una investigación estratégica. En contraste los implantes pueden poner huecos en el sistema óptico (por ejemplo en el córtex), sin embargo, estas situaciones se pueden remediar mediante cirugía oftalmológica. Y en principio, los dispositivos electrónicos, alimentarán las señales de entrada a los nervios a través de su ruta normal, tratando de ayudar a que el sistema neuronal decodifique correctamente las señales hacia el cerebro. La retina es frágil ya que sólo tiene 0.25 mm de grosor. Los grandes cambios deben ser ubicados como implante en esa superficie; es decir, el arreglo de un microelectrodo. Este dispositivo debe ser colocado mediante cirugía de retina, para garantizar su correcto funcionamiento.

Un prototipo de Retina Artificial aparece en la fig. 43 y el diagrama del Sistema ya trabajando se muestra en la fig. 44. Se debe notar que no hay baterías implantadas dentro del cuerpo y no hay conectores ni alambres penetrando el ojo.

En uso clínico, la fuente de poder (una pequeña fuente de Láser direccionado con un ancho de banda de 820 nm) estaría montada en un par de lentes. La fuente de datos visuales (cámara), tomaría las salidas moduladas en amplitud (AM) de la fuente de Láser. Los alambres del Láser y la cámara estarían sobre baterías intercambiables que estarían en el arreglo externo que bene el paciente.

El implante en sí mismo consiste de un arreglo de fotodiodos y un Circuito Integrado estimulador ubicado entre el arreglo del electrodo y el propio fotodiodo. El diminuto sistema es alimentado por señales moduladas de un foco Láser hacia el arreglo de 12 fotodiodos. Entonces, el arreglo de diodos en turno enciende al Circuito Integrado estimulador, el cual direcciona la corriente de forma individual hacia los electrodos.

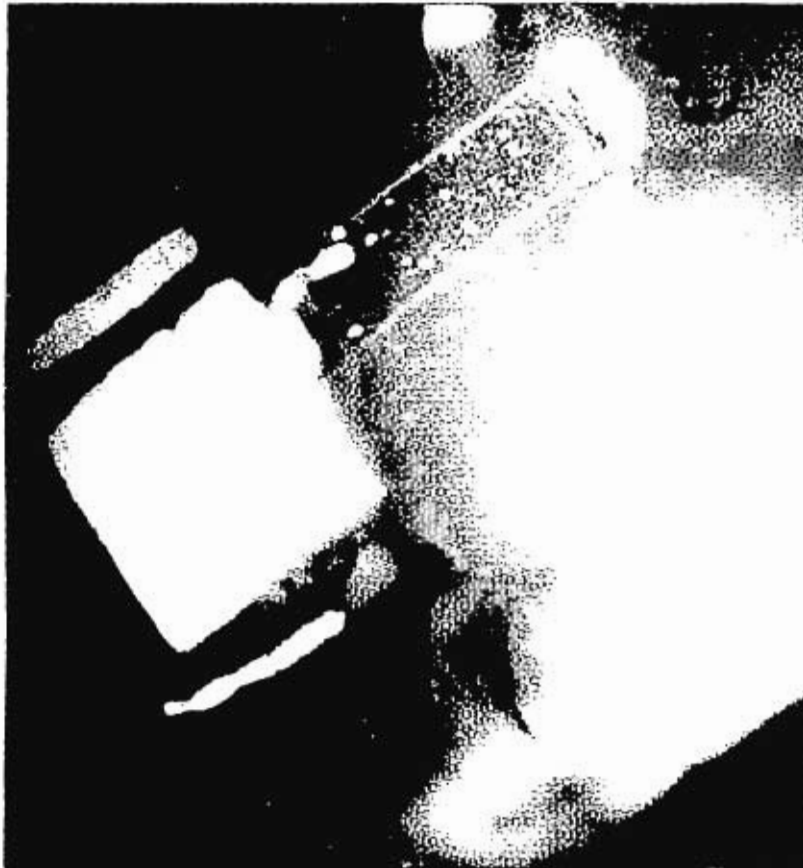


Fig.V. 43 - Prototipo de un implante de Retina Artificial.

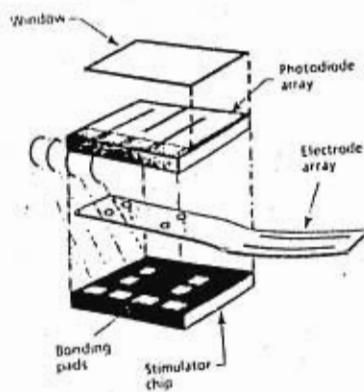
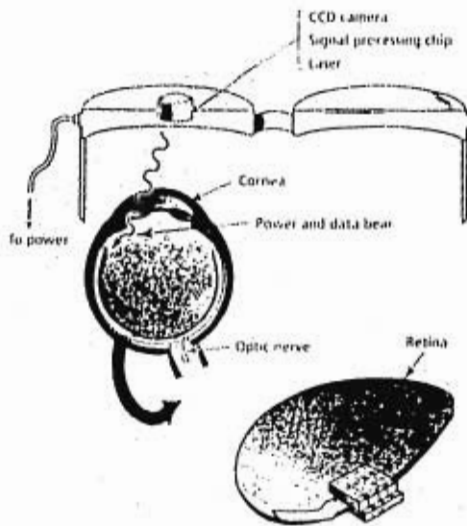


Fig V. 44.- Sistema Completo de Funcionamiento de un Implante de Retina Artificial.

Esos electrodos están de tal forma arreglados hacia la retina. La potencia necesaria para manejar estos arreglos está por abajo de 0.25 mWatts en los actuales prototipos. El dispositivo se debe instalar en el frente de la retina. La entrada visual hacia el Sistema Nervioso, comienza cuando la luz entra desde los dispositivos de recepción colocados en los fotorreceptores ubicados en la parte trasera de la retina (fig V. 45).

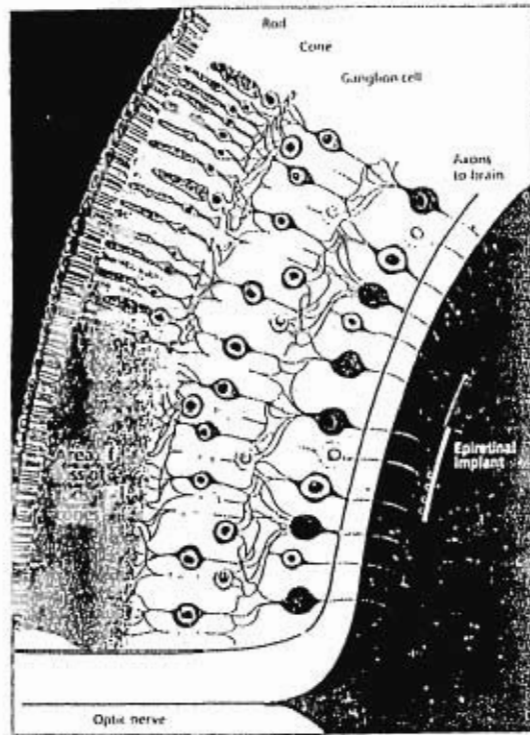


Fig. V.45.- Colocación Real del Implanta.

Los receptores se conectan a una capa intermedia a través de una célula nerviosa que va directamente a las Células de Ganglón, justo bajo la retina a la que se conecta por medio de axones. Esas fibras de axones se encuentran en el disco óptico (en el punto ciego) para formar el nervio óptico, y se extienden hacia el cerebro. El millón de conexiones contenidas que van hacia el nervio óptico, son la sola fuente de entrada visual hacia el cerebro (por lo que, el implante no ayudaría a pacientes que tengan glaucoma u otras enfermedades de el nervio óptico, ya que no se podría hacer la conexión directa hacia el cerebro). Las señales visuales se propagan a lo largo del nervio óptico de forma lateral hacia el núcleo Genicular, que a su vez sirve de conexión hacia el córtex. En el núcleo Genicular cada una de las células hacen la conexión o sinápsis, con cualquier célula cerebral antes de llegar a la corteza visual ubicada en la parte posterior del cráneo.

V.20.- ¿ Dónde Debe ir el Implante ?

Las enfermedades degenerativas de la retina son todavía poco entendidas, algo que es evidente; todas ellas destruyen de forma selectiva y significativa ciertas células nerviosas o tramos de fibras nerviosas. Claramente, un implante deberá contactar directamente a los elementos más importantes de El Sistema Nervioso Central.

Para las dos enfermedades más representativas del ojo (como son la degeneración muscular y la retinitis pigmentosa), se padece una pérdida selectiva dentro del sistema visual. La primer pregunta es si las Células Ganglionares sobreviven en número considerable, para autoayudarse en el control degenerativo que las células enfermas imponen a las sanas. La evidencia específica que se regeneran por un período considerable de tiempo; sin embargo, las células dañadas acaban por imponerse a las sanas, y producen el daño irreversible. Varios estudios anatómicos, incluyendo uno directo a humanos; han mostrado que esas células retinales no sucumben rápidamente ó que lo hagan en gran número de forma inmediata

Algunos investigadores han aplicado corrientes eléctricas muy cerca de la retina durante cortos lapsos de tiempo y de ocurrencia. La aplicación tuvo lugar a una distancia de 0.5 mm de la retina y los pacientes reportaron percepciones muy bien definidas en lo que respecta a la forma, ancho y constitución del objeto percibido. Esto debido a que aparentemente las Células Ganglionares fueron capaces de llevar mensajes hacia la parte visual de el cerebro. Factores anatómicos hacen de la Células Ganglionares una localidad atractiva para una interfase eléctrica hacia las neuronas. Es relativamente fácil, a partir de una intervención quirúrgica, acceder al espacio donde esta interfase debe colocarse, ya que la posición estará dentro del campo visual.

Una posible desventaja de la ubicación del implante de retina, es que la entrada eléctrica hacia las Células Ganglionares ocurra un tanto descendientemente desde el punto de entrada normal en un fotorreceptor, bastón ó cono. Para compensar, se puede eventualmente, usar el Circuito Integrado (que define al implante) y los algoritmos que incorporan algunas funciones de la neurofisiología de la retina.

V.21.- Otros Posible Lugares para Colocar el Implante.

En principio, un paciente ciego debe "ver" algo si se estimula correctamente el campo visual a través de pulsos eléctricos. El nervio óptico, el cuerpo genicular y el neocórtex visual son lugares para ser considerados. Pero ¿porqué escoger la retina?

El nervio óptico es un cable neuronal de cerca de 3 mm de grueso y 50 mm de largo, el cual lleva señales desde la retina hacia el cerebro. Son alrededor de un millón de fibras las cuales están conectadas sobre el tejido, y el nervio óptico está encajonado en membranas que no pueden ser renovadas sin dañarse. Todavía, para acceder por cirugía al nervio óptico es muy complicado: Primero se implanta un electrodo alrededor del nervio y se estimula a éste. Pero las fibras en el nervio óptico, no enlazan a las células en la retina, no están rígidamente organizadas de acuerdo con su orientación en el campo visual. Entonces, el campo eléctrico es muy alto y ubica con mucha precisión el lugar que debe estimular (esto es, sólo la sección de fibras seleccionadas).

La estimulación sobre la corteza visual representa mayor éxito de aprovechamiento, contra la estimulación que se pudiera hacer de el nervio óptico. La corteza visual, que está ubicada detrás de el cerebro, es desde el punto de vista quirúrgico, fácil de acceder, con su relativo esfuerzo. Con lo anteriormente explicado, un paciente que tiene cierto tipo de ceguera reconoce patrones usando un implante cortical.

Dado lo relativamente fácil que es poder llegar a la retina, y reconocer las entradas deseables desde el punto de vista electrónico, en el patrón visual hasta el máximo posible; se estimula la parte posterior de la retina, donde se encuentran los fotorreceptores, de tal forma que se pueda estimular a las células sanas y dejar fuera a las que por enfermedad se encuentren dañadas. (todo lo anterior se logra al experimentar con un arreglo de electrodos integrado con un fotodiodo que es insertado entre la retina y la parte posterior de el ojo). Las señales de luz que se detectan en el fotodiodo manejan bastante corriente que se lleva a los electrodos para estimular elementos de las neuronas dentro de la retina.

Se pueden presentar dificultades, si las células dentro del revestimiento de la retina (epithelium), reaccionan hacia la presencia de un implante subretinal ó si el flujo de nutrientes hacia la retina no es el adecuado. Además, es probable que se tenga alguna dificultad con los fotodiodos, que proporcionan la estimulación balanceada bifásica que se necesita para minimizar las reacciones electroquímicas y la disolución del electrodo. Para lo que se refiere a este trabajo, es deseable que sea en el frente de la retina donde se ubique la interfase entre el nervio óptico y el dispositivo electrónico. Con esta aproximación epiretinal, las Células Ganglionares pueden ser estimuladas directamente por un arreglo de electrodo planar y que no penetre.

En un individuo sano, cada Célula Ganglionar responde hacia los bastones y los conos dentro de su campo receptivo, la cual por lo pequeño de las Células Ganglionares entrega su información en un espacio de aproximadamente 200 μm .

El objetivo primordial del presente trabajo es proponer una Prótesis de Retina Artificial que restaure en un grado muy importante la visión en pacientes que sufren algún tipo de ceguera (todo lo anterior en un sentido bastante razonable de ceguera). Pero utilizando los arreglos de estimulación que se proponen en el presente trabajo, será posible lograrlo.....a partir de Circuitos de Muy Alto Nivel de Integración (VLSI).

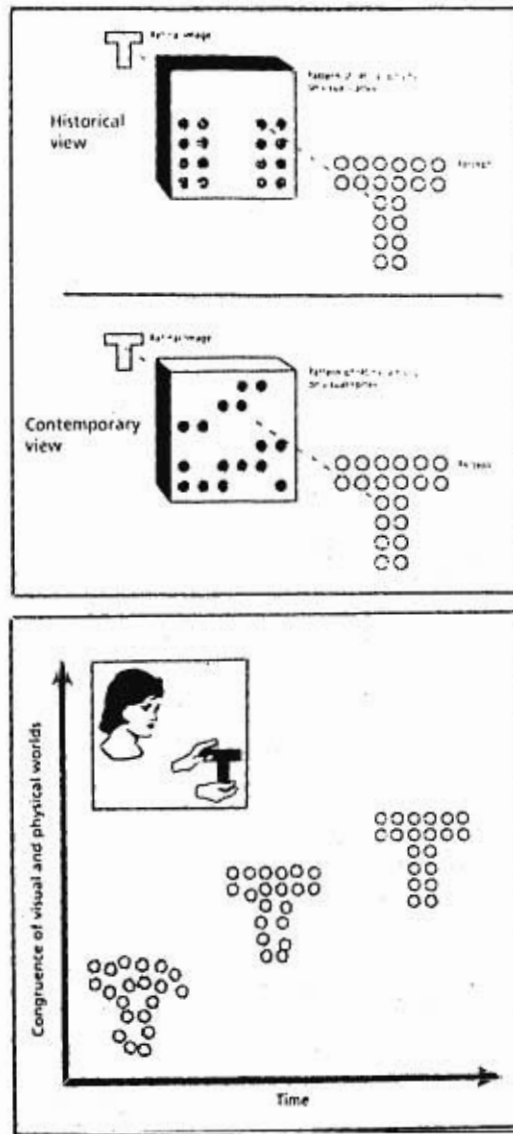


Fig. V. 46 - La Adaptación a la Congruencia Visual y Física de las Palabras.

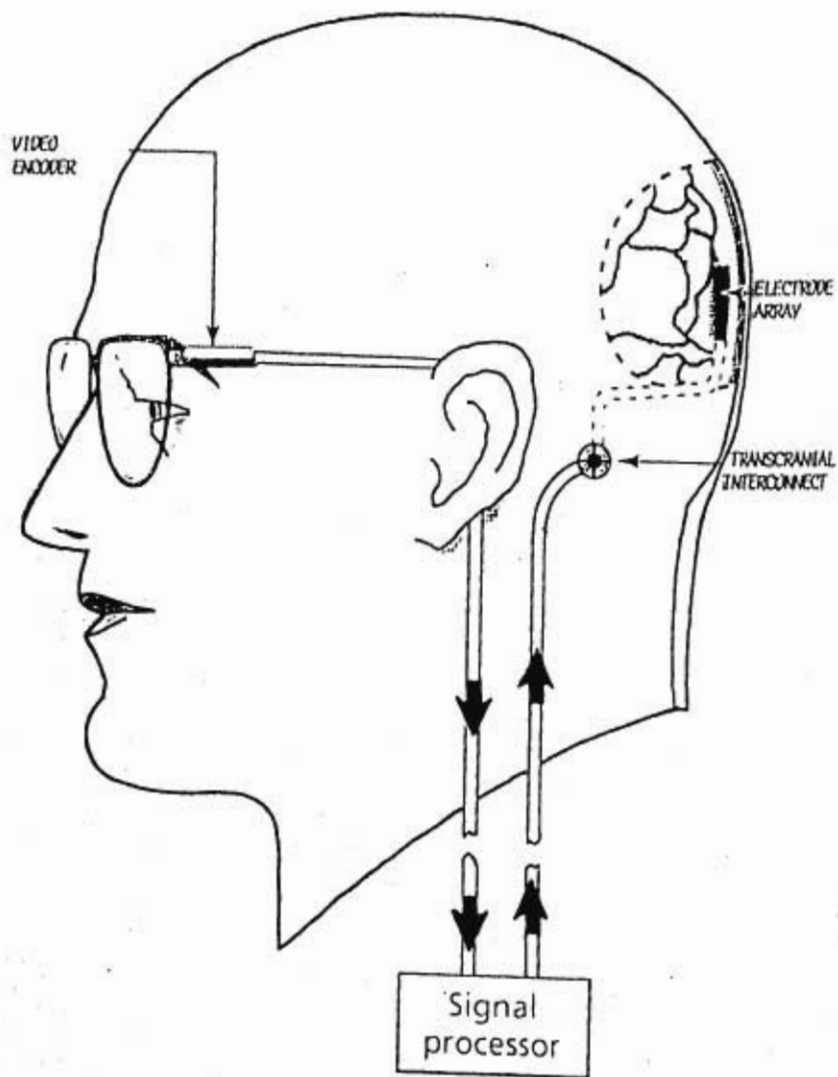


Fig. V.47 - Un Corte de la Ubicación de la Prótesis, la Cual Consiste de un Decodificador de Video que Convierte la Escena Visual en una Señal de Video.

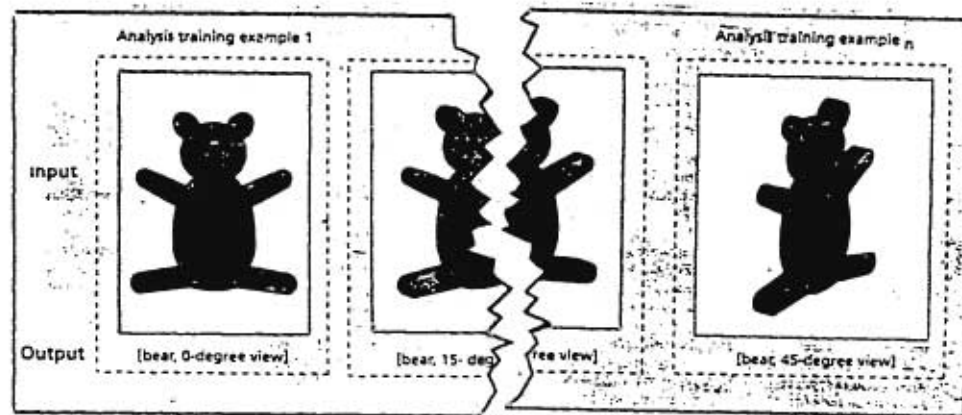


Fig. V48.- Figuras de Entrenamiento que son Utilizadas en los Complejos de redes Neuronales, para supervisar el aprendizaje de él paciente en sus rutinas de visión.

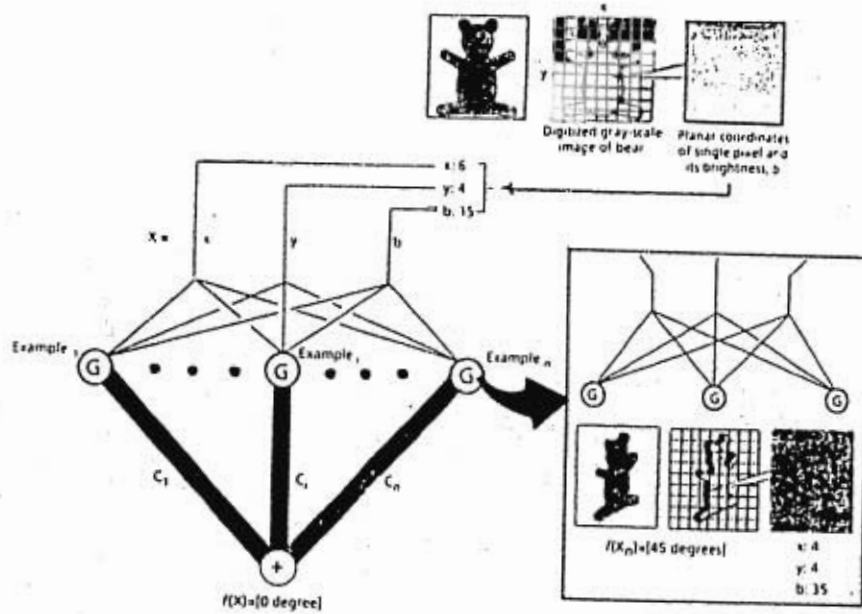


Fig V 49.- Análisis del Problema de ¿Cuál Camino es el Mejor para Ver ?

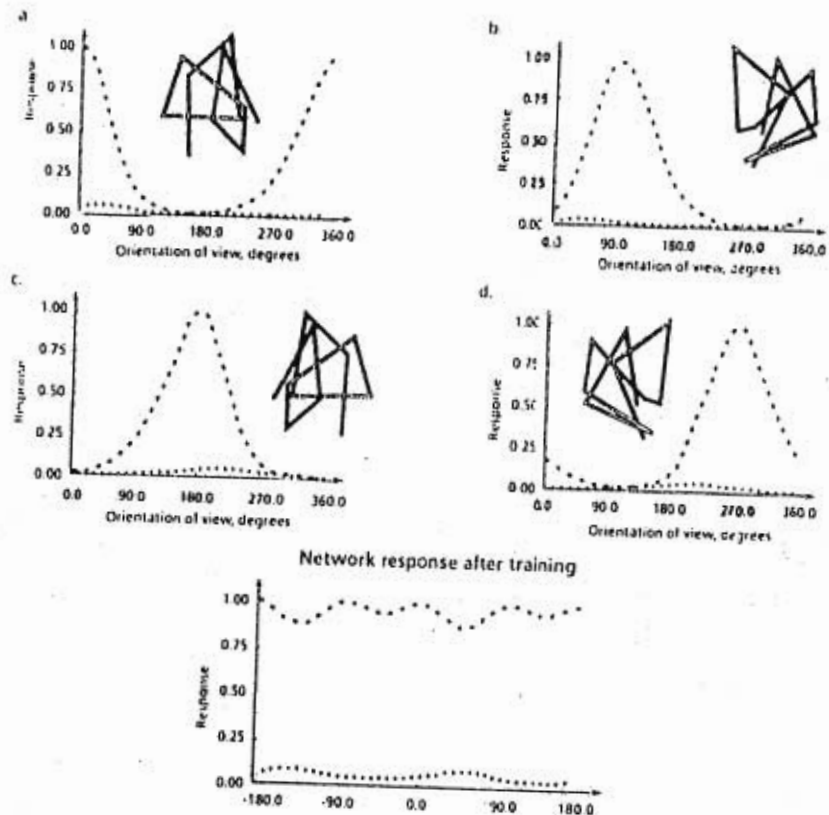


Fig. V. 50. - Módulo de Entrenamiento y Aprendizaje.

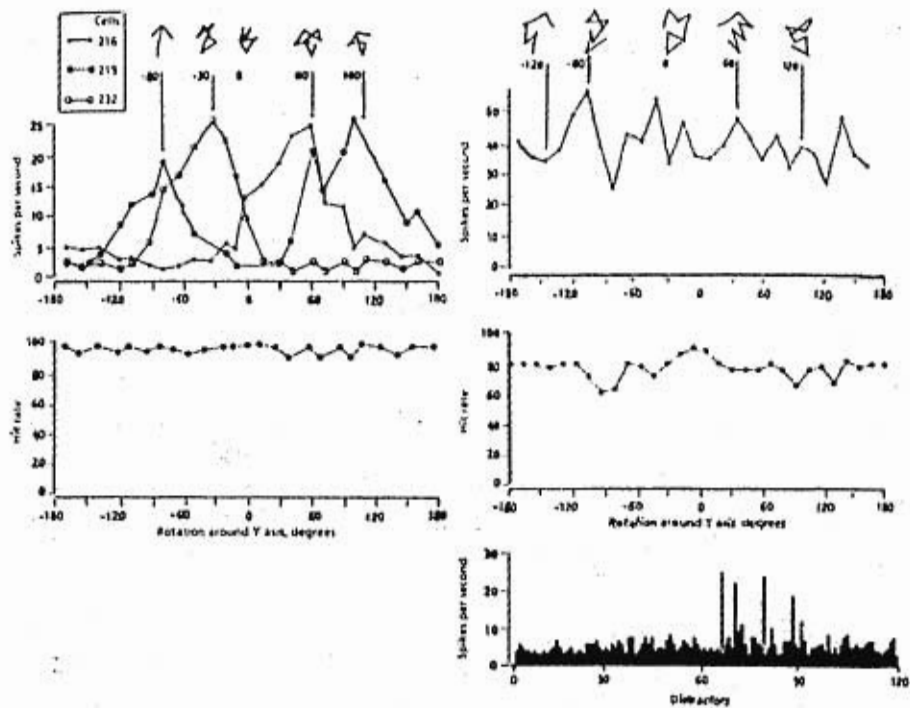


Fig. V. 51.- Respuesta a la Estimulación de la Visión una vez que el Implante de Retina Artificial ha sido Colocado.

CONCLUSIONES

Como conclusiones al presente trabajo de tesis se pueden mencionar las siguientes:

Por más amplio que sea el espectro de las posibilidades de aplicación de circuitos integrados, la mayoría de las personas de nuestros días asocia la microelectrónica primordialmente con el procesamiento electrónico de datos, con la tecnología de la computadora. La razón para que ello sea así es comprensible. Los chips altamente integrados de lógica y memoria constituyen hoy día el corazón de toda computadora y encuentran su más destacada aplicación en este campo. Sin embargo el trabajo de procesamiento que los chips realizan en una computadora es sólo una parte de lo que en capítulos anteriores se habla calificado con frecuencia como "manejo de información". Y la microelectrónica es la tecnología básica para nuestro manejo técnico de la información, o sea para la informática en su acepción más amplia.

¿Qué es y qué hace este manejo con información? En la forma altamente desarrollada, como se presenta de un modo particular para el ser humano, son básicamente cuatro sus partes integrantes, a saber:

La información es "Procesada".

Es decir, codificada y decodificada, ordenada, evaluada, asociada y combinada para formar nuevos contenidos informativos; en otra etapa es almacenada en una memoria, donde se localiza y se encuentra.

La información es "Percibida".

Es detectada como información proveniente de un interlocutor de la comunicación o es derivada como imagen representativa del mundo que nos rodea a partir de estados físicos y modificaciones de estados percibidos.

La información es "Usada".

Es decir, formulada como información para interlocutores de la comunicación o para memorias; o es configurada como instrucción que da lugar a que se realice algún trabajo.

La información es "Transportada".

Es transmitida para un determinado fin y objetivo, ya sea hacia archivos o hasta el interlocutor de la comunicación o a otros "conjuntos funcionales", cualquiera sea su naturaleza.

Lo anterior nos permite comprender a grandes rasgos de qué manera, con el desarrollo de las posibilidades técnicas, a partir de las partes integrantes señaladas anteriormente se han ido formando técnicas especializadas, como ser:

Procesamiento de datos,
Medición,
Comando y regulación,
Comunicaciones.

Sin embargo, la verdadera capacidad de un sistema de información en el manejo de la misma, depende de un quinto componente sumamente importante, a saber:

*Organización de procesamiento,
Percepción, aplicación y transporte
de la información,*

O sea, el sistema informativo coordina la forma y el modo en que serán concretadas las cuatro habilidades básicas en forma integrada. A su vez, a esta altura podemos comprender a grandes rasgos el grado en que estas habilidades han repercutido sobre el desarrollo de cada una de las técnicas mencionadas anteriormente, a medida que iban creciendo las posibilidades de aplicación. Surgieron entonces la *técnica de datos*, con procesamiento de la información como elemento prioritario, pero ya considerablemente enriquecido con elementos de percepción, aplicación y transporte:

La técnica de medición y uso de sensores.

Con la percepción de información en primer plano, pero ya considerablemente enriquecida con elementos del procesamiento y transporte de información; *la Técnica de Automatización* en la cual se van combinando en creciente medida las funciones de comando y regulación con componentes de percepción, procesamiento y transporte de información; *la Técnica de la comunicación*, con las funciones de emitir, recibir, transmitir y transferir información como actividad prioritaria, pero considerablemente enriquecida con elementos de percepción procesamiento y aplicación de información y con una integración de los tipos de representación como lo son el lenguaje, texto, imagen y datos. La utilización de la microelectrónica en estos cuatro campos conduce a sistemas de información microelectrónicos, que a su vez encuentran aplicación en las más diversas formas y en casi todos los ámbitos de nuestra sociedad.

La influencia de la microelectrónica en la técnica de datos, en la computadora como hemos visto, se continúan propagando las propiedades características de los chips en forma directa. Lo mismo que éstos, las computadoras continúan, gracias a los chips:

Reduciendo el tamaño,
mejorando su precio,
aumentando su capacidad.

Como consecuencia se perciben tres fenómenos particularmente importantes, todos vinculados entre sí pero cuyos efectos se perciben en diferentes niveles. Son ellos la más amplia difusión en la computadora, el mejoramiento de las interfaces entre hombre y máquina y el paso que va desde el procesamiento de datos al procesamiento de conocimientos.

La evolución operada hasta el presente nos lleva a los "Sistemas de computación de la Quinta Generación", sin embargo no se trata primordialmente de una nueva generación de componentes, sino antes bien de la transición del procesamiento de datos al de conocimientos. Del campo de la "Inteligencia Artificial", se pretende destacar la diferencia frente a los bancos de datos artificiales, menos flexibles, por lo tanto son los programas de computadoras basadas en conocimientos. Un punto prioritario de la "quinta generación", es que estos sistemas permiten dialogar con ellos en lenguaje natural. Lo que se busca es que puedan recibir instrucciones escritas o incluso habladas y transformarlas en operaciones de mundo mecánicas. De esta forma quedaría eliminada, para el usuario la necesidad de poseer conocimientos especiales de programación, una de las barreras principales en el camino hacia la utilización. Existen sistemas experimentales, entre otras áreas, para diagnósticos médicos y técnicos. Una importante característica es una componente explicativa, con la cual el programa a solicitud fundamenta sus conclusiones.

El Procesamiento de señales medidas, son producidas por los registradores o captadores deben ser evaluadas, comparadas, compactadas. Las magnitudes medidas son procesadas para formar resultados de las mediciones. Estos, en muchos casos, se obtienen sólo después de haberse reunido en tiempo y espacio numerosos y diferentes valores medidos que, además, deben ser almacenados en memorias transitorias. Los métodos de procesamiento difieren, según la forma en que debe encontrarse disponible el resultado de salida, o sea si sólo debe estar compuesto por datos medidos o si también debe concluir un trabajo de reconocimiento, por ejemplo imitando las aptitudes visuales, auditivas y perceptivas del ser humano.

Los Sistemas de medición y sensores inteligentes necesitan un volumen tan alto de información procesada, que realmente no pueden prescindir de una "calculadora" propia. Esta, en lo posible, debe ser pequeña, pero en todo caso muy eficiente y económica, porque de lo contrario estos sistemas serían, debido a la multiplicidad requerida, demasiado caros como componentes individuales, excesivamente grandes y desproporcionados. Sólo los microprocesadores y módulos con memorias altamente integradas están comenzando a ajustarse a estos requerimientos.

Finalmente, la relación al Implante de Retina artificial, se puede establecer su viabilidad y realización total hacia el año 2000. Ya que se requiere perfeccionarlo en los simuladores actuales.

Dentro del ámbito del beneficio, se ha establecido que la ceguera ha afectado a millones de personas en el Mundo. En la mayoría de los países con este problema, las causas son: Catarata, mala nutrición o infecciones. Sin embargo, se tienen problemas visuales y de ceguera debido a enfermedades crónicas sintomáticas tales como: Tuberculosis, neumonía y enfermedades de transmisión sexual.

Es posible prevenir muchas de éstas enfermedades con una dosis continúa de Vitamina A a los pacientes que presenten principios de pérdida de la visión ó si ésta se torna borrosa. En los países desarrollados, se está trabajando en la solución de este problema con tratamientos ó con cirugía; ya que no siempre estas deficiencias visuales se corrigen con lentes. Por lo que respecta a los países en desarrollo, la situación es crítica, ya que la infraestructura medica, no cuenta con los recursos para practicar cirugías oculares exitosas.

Se sabe que la mayoría de los problemas visuales y de baja visión están asociados con enfermedades ó padecimientos que destruyen tejidos en la retina, el nervio óptico y la corteza visual. Por lo tanto; es factible pensar que en un futuro muy cercano, algunos problemas visuales podrán prevenirse y que muchos otros serán corregidos con implantes como el que se analiza en este trabajo de Tesis.

La secuencia para que este proyecto se cumpla está dividido en los siguientes temas:

1.- *Investigación de la Visión.*- En este punto se analizan: El contraste de la señal e imágen, la posición del ojo y el manejo de los límites de la visión, reubicación de imágenes, presentación de texto palabra por palabra hacia el codificador, estabilización de la imágen, color y corrección del contraste.

2.- *Procesamiento de la Retina.*- En este punto se analizan: La red de conexiones hacia la retina, el rango de visualización, el control de ganancia, los niveles de visualización, control de luminosidad y oscuridad, decodificación de colores y de las funciones de la retina hacia el nervio óptico, arreglos para el control bordes de las imágenes el control del espacio múltiple para las funciones de la retina hacia el nervio óptico.

3.- *Prótesis de Retina Artificial.*- En este punto se analizan : La estimulación de la retina a partir de arreglos eléctricos la implantación de un decodificador intraocular, la transmisión de las señales de alimentación, viocompatibilidad, direccionamiento electrónico, resolución y el control del movimiento del ojo.

GLOSARIO

ALGORITMO.

Procedimiento que indica cómo con un número finito de pasos podemos resolver un determinado problema. De esta manera es posible formalizar procesos de cálculos (como soluciones a los problemas) y formularlos en programas para su realización. Es por eso que los programas de las computadoras se componen de algoritmos más o menos voluminosos.

ARRAY

Disposición reticular, topográfica, de elementos en un sistema. Los elementos pueden ser de la misma clase o diferentes. La disposición consiste por lo general en configuraciones que presentan una cierta regularidad. La formación de "arrays" es de particular importancia en circuitos integrados y sistemas de sensores. Un ejemplo típico para un "array" de sensores biológicos es la retina del ojo humano.

ASCII.

American Standard Interchange Code; es el código de 7 bits con que se representa un juego de caracteres de impresión y cierta información de control. Este código se emplea con frecuencia en las terminales de datos tipo TTY.

BCD.

Binary coded Decimat; Código binario donde se utilizan 4 bits para codificar los números del 0 al 9.

BIT.

Abreviatura para binary digit, es decir uno de los dos dígitos en un sistema numérico binario. Bit es la unidad para medir contenidos de información, es decir un bit es la unidad de información más pequeña, definida como alternativa bivalente para un estado (si-no, conectado-desconectado, alto-bajo, verdad-falso).

BYTE

Agrupamiento estandarizado de ocho bits para constituir una unidad de información.

CELDA.

(Gate Array, celda estándar o celda general, proyecto referido a una celda específica).

CHIP. Circuito integrado

CIRCUITO DE ENLACE

(También circuito de base o elemental). Como circuitos de enlace se denominan los circuitos compuestos por el menor número posible de transistores, en cuyo caso pueden desempeñar una función lógica de base, es decir un enlace lógico de dos magnitudes digitales de entrada. Las funciones lógicas de base y su utilización se describen en el álgebra de Boole.

CIRCUITOS INTEGRADOS

Los circuitos integrados (en inglés *integrated circuits, IC*) pueden clasificarse según diferentes criterios.

La clasificación según su densidad de integración se ha descrito bajo el concepto integración.

Otro criterio es la función que realizan los circuitos integrados en el manejo de información. Las dos funciones básicas son el enlace lógico y el almacenamiento. De acuerdo a ello se distingue entre circuitos lógicos y circuitos de almacenamiento (también denominados módulos lógicos y módulos de memoria).

Otro criterio es si los circuitos tienen una lógica de cableado fijo o sin programables, como el microprocesador. Y además, en el aspecto comercial, se establece la diferencia entre circuitos fabricados para un uso específico (*full custom IC*), para un uso semiespecífico (*semi custom IC*) y circuitos estándar (*standard IC*).

Los circuitos de uso específico son desarrollados y fabricados de acuerdo a los requerimientos de un solo usuario para un determinado caso de aplicación.

Los circuitos semiespecíficos son fabricados mediante el enlace específico de Gate Arrays prefabricados o se componen de celdas desarrolladas en forma preliminar. Circuitos estándar son componentes universales utilizables para un amplio espectro de aplicaciones.

El pedacito de cristal semiconductor sobre el cual se encuentra el circuito integrado, es denominado chip. Se lo incorpora dentro de un alojamiento de material cerámico o plástico.

CÓDIGO

Sistema por el cual se establece la equivalencia de dos diferentes sistemas de signos ante el mismo contenido de información. Definición según DIN 44 300: código es una regla para la asignación inequívoca de signos de un conjunto de signos a otros signos de otro conjunto (codificación).

En cambio, el lenguaje es un sistema con arreglo al cual se utilizan signos en forma combinada y combinaciones de signos para representar los diferentes signos para representar los diferentes contenidos de información. El empleo del lenguaje es pues el "formular" una información, codificación, en cambio, es el "traducir" a otro sistema de signos.

COMPONENTE.

En este contexto se trata de componentes electrónicos. Se distingue entre componentes discretos (por ejemplo transistores o diodos individuales) y componentes integrados (por ejemplo circuitos integrados). Cuando la función de un componente consiste en amplificar una señal, se lo denomina componente activo, de lo contrario componente pasivo.

Se habla de componentes estándar cuando éstos pueden ser utilizados para muchas aplicaciones diferentes.

Módulo: el significado de este concepto es variado. Por lo general se le emplea como sinónimo para componentes integrados o de alta integración, por ejemplo módulo lógico o módulo de memoria.

Subconjunto: Este es el soporte para componentes discretos y/o integrados, en el cual se encuentran vinculados y, cuando fuese el caso, enfilados. Los subconjuntos se agrupan para formar los módulos de un aparato o un sistema.

DESARROLLO DE CIRCUITOS.

Bajo este concepto se reúne todo lo relacionado con el desarrollo de un circuito integrado, desde la idea inicial hasta el dibujo o plano aprobado. En cambio, la confección de las máscaras para los diversos pasos del proceso es la primera fase de la producción de chips. La fase en la cual se considera incluido o estructurado el desarrollo de un circuito, depende mucho de si el desarrollo se realiza "en forma manual" con transistores individuales o asistido por computadora con celdas o módulos. La parte principal del desarrollo es el diseño del circuito. En el caso del desarrollo es el diseño del circuito. En el caso del desarrollo basado en el óptimo de transistores individuales éste comienza con el enlace de circuitos elementales en el plan lógico y termina con los layouts, es decir los patrones para las diversas máscaras, precedido por la fase de la arquitectura del circuito.

Los datos para las diversas máscaras actualmente ya se clasifican con apoyo de computadora y llegan así a la producción. Antes del plan lógico, el primer paso en el diseño de un circuito, está la especificación precisa dada por el futuro usuario del circuito. La arquitectura en esta etapa ya está preestablecida en el orden de las celdas y los módulos.

DISCRETO.

Singular, de una sola unidad.

DMA.

(Acceso Directo a Memoria) Direct Memory Acces; es el proceso mediante el cual un dispositivo periférico, llega a la memoria principal directamente, en vez de hacerlo a través de la CPU.

DOS.

Disk Operating System; es el Sistema Operativo de Disco.

ENSAMBLADOR.

Assembler. Programa que convierte un lenguaje de máquina en forma numérica en un formato objeto binario para que pueda ser ejecutado por la computadora.

ELECTRÓNICA.

Primero: rama de la física que trata de los fenómenos que pueden ser explicados con la interacción de electrones o con la red cristalina de cuerpos sólidos.

Segundo: Técnica electrónica, que aprovecha el comportamiento del movimiento de electrones libres como efecto para conducir corriente:

De acuerdo a sus funciones, los componentes electrónicos se clasifican con frecuencia para electrónica informativa y electrónica de potencia. Bajo electrónica informativa se comprende la técnica electrónica del manejo de información (percepción, procesamiento, almacenamiento, transmisión). En cambio en la electrónica de potencia se conmutan, gobiernan y modifican corrientes de potencia con medios electrónicos. Un campo especial de la electrónica es la optoelectrónica, donde la interacción de electrones y radiación luminosa se utiliza para fines técnicos. Una significación especial tiene el comportamiento de electrones en semiconductores y por eso la técnica de semiconductores desempeña actualmente un papel tan importante en la electrónica.

En el proceso de integración de elementos básicos de circuitos electrónicos en un cristal semiconductor surgió también la posibilidad de la miniaturización. Esta ha progresado hasta un grado extremo en los elementos empleados para el procesamiento de información (módulos lógicos) y su almacenamiento (memoria). Constituyen el centro de los elementos semiconductores miniaturizados, o sea la microelectrónica.

IMPURIFICACIÓN.

Proceso físico y técnico para insertar átomos extraños en los lugares interreticulares de un material monocristalino, con lo cual se produce un excedente o déficit de electrones, que en el caso de semiconductores generan la conductividad negativa o positiva deseada (conductores N o P).

La impurificación sistemática del semiconductor se realiza ya sea en un proceso de alta temperatura (difusión) o mediante bombardeo en iones (implantación iónica). El lugar en el cual se impurifica al semiconductor resulta de los cristales no blindados con una capa de óxido, de modo que pueden penetrar átomos extraños (por ejemplo en el caso de silicio a través de las denominadas ventanas de SiO_2). Para la impurificación sistemática del semiconductor existe también la posibilidad de exponerlo en un reactor a la irradiación radioactiva (radiación neutrónica), a consecuencia de lo cual algunos átomos de silicio del material son transformados en otros átomos. También de esta manera se produce un déficit o superávit de electrones. Este método permite obtener una impurificación particularmente homogénea, importante para material semiconductor destinado a la electrónica de potencia.

ENSAMBLADOR.

Assembler: Programa que convierte un lenguaje de máquina en forma nototécnica en un formato objeto binario para que pueda ser ejecutado por la computadora.

ELECTRÓNICA.

Primero: rama de la física que trata de los fenómenos que pueden ser explicados con la interacción de electrones o con la red cristalina de cuerpos sólidos.

Segundo: Técnica electrónica, que aprovecha el comportamiento del movimiento de electrones libres como efecto para conducir corriente:

De acuerdo a sus funciones, los componentes electrónicos se clasifican con frecuencia para electrónica informativa y electrónica de potencia. Bajo electrónica informativa se comprende la técnica electrónica del manejo de información (percepción, procesamiento, almacenamiento, transmisión). En cambio en la electrónica de potencia se conmutan, gobiernan y modifican corrientes de potencia con medios electrónicos. Un campo especial de la electrónica es la optoelectrónica, donde la interacción de electrones y radiación luminosa se utiliza para fines técnicos. Una significación especial tiene el comportamiento de electrones en semiconductores y por eso la técnica de semiconductores desempeña actualmente un papel tan importante en la electrónica.

En el proceso de integración de elementos básicos de circuitos electrónicos en un cristal semiconductor surgió también la posibilidad de la miniaturización. Esta ha progresado hasta un grado extremo en los elementos empleados para el procesamiento de información (módulos lógicos) y su almacenamiento (memoria). Constituyen el centro de los elementos semiconductores miniaturizados, o sea la microelectrónica.

IMPURIFICACIÓN.

Proceso físico y técnico para insertar átomos extraños en los lugares interreticulares de un material monocristalino, con lo cual se produce un excedente o déficit de electrones, que en el caso de semiconductores generan la conductividad negativa o positiva deseada (conductores N o P).

La impurificación sistemática del semiconductor se realiza ya sea en un proceso de alta temperatura (difusión) o mediante bombardeo en iones (implantación iónica). El lugar en el cual se impurifica al semiconductor resulta de los cristales no blindados con una capa de óxido, de modo que pueden penetrar átomos extraños (por ejemplo en el caso de silicio a través de las denominadas ventanas de SiO_2). Para la impurificación sistemática del semiconductor existe también la posibilidad de exponerlo en un reactor a la irradiación radioactiva (radiación neutrónica), a consecuencia de lo cual algunos átomos de silicio del material son transformados en otros átomos. También de esta manera se produce un déficit o superávit de electrones. Este método permite obtener una impurificación particularmente homogénea, importante para material semiconductor destinado a la electrónica de potencia.

INGENIERIA.

El concepto de ingeniería abarca todos los trabajos ingenieriles de planeamiento, cálculo, diseño, desarrollo y proyecto de componentes, sistemas y equipos técnicos. Lo más importante es la acción sistemática, razonada y metódica para resolver un problema o una tarea y aprovechar en la práctica el resultado obtenido. El concepto se emplea en este sentido también en numerosas formas compuestas, donde la palabra radical califica el resultado concreto de la solución del problema.

INTEGRACIÓN.

Integración es la inclusión de componentes discretos en una unidad constructiva y puede ser realizada, entre otras formas, en virtud del encapsulamiento, entre otras formas, en virtud del encapsulamiento de todos los elementos (por ejemplo integrándolos en una masa colada).

Pero particularmente importante se tiene en la electrónica la integración monolítica, donde los componentes se concretan físicamente en un solo cristal semiconductor (monolito). De esta manera se logran en circuitos integrados las denominadas densidades de integración, que se determinan de acuerdo al número de funciones transistorizadas realizadas en un chip y que hasta ahora han resultado en la siguiente clasificación (la asignación de un número a la clase aún no está establecido en forma definitiva):

- SSI** Small Scale Integration.
(2 hasta 50 funciones transistorizadas en un chip).
- MSI** Medium Scale Integration.
(50 hasta 500 funciones transistorizadas en un chip).
- LSI** Large Scale Integration.
(500 hasta 50,000 funciones transistorizadas en un chip).
- VLSI** Very Large Scale Integration.
(Más de 50,000 funciones transistorizadas en un chip).

Para el futuro se consideran también como realizables densidades de integración de hasta 10 millones de funciones transistorizadas en un chip.

LENGUAJE.

Bajo lenguaje en el más amplio sentido se entiende el sistema por el cual está establecido un conjunto de signos y por el cual está establecido un conjunto de signos y por el cual se utiliza la configuración de signos de dicho conjunto para representar información. En este contexto, las configuraciones de signos están clasificadas en cantidades superiores e inferiores (por ejemplo signos individuales, palabras, frases, textos), y las diversas cantidades tienen asignado un significado. Dicho de manera muy simplificada el sistema de la configuración de signos es la gramática de un lenguaje con definición de signos, morfología y sintaxis. El sistema para designar los significados es la semántica. Por lo general se denomina como lenguaje únicamente nuestros lenguajes coloquiales (surgidos históricamente). Son los lenguajes de interpretación con muchos grados de libertad para interpretar los significados. Por eso estos lenguajes en su uso corriente son muy susceptibles de falsas interpretaciones y malentendidos.

Los lenguajes estandarizados y en consecuencia más inequívocos son los lenguajes formales. Entre ellos se incluye como el más antiguo el lenguaje basado en fórmulas de la matemática y, época más reciente, también los lenguajes de programación, que el hombre usa para formular los programas de las computadoras. (por ejemplo Basic, Cobol, Algol, Fortran, Pascal, Ada, Lisp). En cambio, totalmente sin margen de interpretación son los lenguajes concretos, en los cuales la información es tratada por circuitos elementales de sistemas de información es tratada por circuitos elementales de sistemas de información tanto en la naturaleza como en la técnica. El código de lenguaje de máquina comprensible para el hombre se llama "Assemblercode".

También la naturaleza conoce los lenguajes concretos, por ejemplo el lenguaje de los factores hereditarios en el código genético con cuatro moléculas como signo para la representación concretizante de la información hereditaria o el bombardeo de neuronas de nuestros circuitos elementales en el cerebro con los tres estados básicos de las neuronas como signos "estímulo", "inhibición", y "neutral".

MICRO-

En la electrónica las palabras formadas con micro por lo general designan algo en forma de circuitos integrados, o sea de chips. Así significa

Microelectrónica, la electrónica de los circuitos integrados;

Microprocesador, lo que equivale al mecanismo de cálculo y de comando realizado en un chip,

Microcomputadora, equivalente a la unidad central de una computadora con un procesador, unidad de entrada y salida y memoria de trabajo, todo realizado en un chip (sin embargo, los límites del significado están desdibujados, pues con frecuencia se denominan también como microcomputadoras las unidades constructivas compuestas por varios circuitos integrados realizados sobre una placa).

MINIATURIZACIÓN.

Reducción de tamaño, especialmente de estructuras de circuitos integrados. La miniaturización es el resultado de procesos de fabricación del chip basado en la fotolitografía. La idea básica de la integración es la siguiente. En virtud de la impurificación topográfica sistemática se pretende crear en un semiconductor puntos de conductividad P y de conductividad N, gracias a los cuales se producen transistores integrados en el semiconductor. Para la impurificación sistemática se requieren ventanas, las que se obtienen eliminando de la capa protectora de óxido con un mordiente. Donde éste no debe atacar se cubre la superficie con fotoesmalte, al que se disuelve previo proceso de "exposición" y posterior revelado para eliminarlo de los lugares donde debe introducirse la impurificación. Cuando la mencionada exposición se efectúa en forma de una máscara que reproduce la correspondiente parte del diseño del circuito, se transfiere el mismo sobre el material semiconductor en forma fotolitográfica.

Para reducir las reproducciones de la exposición sobre el chip, existen diferentes posibilidades:

Se procede a reducir la máscara en forma fotoóptica (con una cámara reductora) pero sólo es posible hasta el grado para el cual es suficiente la precisión de la máscara. Si esta precisión es de un grado más alto, también existe un límite físico para la reducción,

dado que las estructuras no pueden reducirse más que la longitud de onda de la luz, con la cual se realiza la exposición o se hace la reducción con arreglo al método fotoóptico.

Se confecciona la máscara de entrada con el pequeño requerido. Para lograrlo se le dibuja con un rayo electrónico, que tiene ondas más cortas que la luz, y los cursores electrónicos pueden trabajar con mayor precisión que todos los demás aparatos de dibujo convencionales. De esta manera se obtienen estructuras más pequeñas con mayor precisión.

Se deja de lado completamente la técnica de la máscara, dibujando directamente con el rayo electrónico sobre el material semiconductor recubierto con el fotoesmalto. Seguramente esta técnica madurará en el futuro para su aplicación continua. Actualmente todavía resulta muy costosa.

La reproductividad de mayor precisión y exactitud del proceso de dibujo y la confección de la máscara con aparatos de precisión requiere adecuada información para comandar estos aparatos. Al efecto nos imaginaremos el dibujo del diseño en un sistema de coordenadas. De esta manera cada uno de los puntos topográficos del dibujo tiene un valor susceptible de ser digitalizado. Estos pueden ser utilizados, posteriormente, como información para comandar los aparatos. Además, en el cursor electrónico se realiza la reducción en forma "computarizada". Para comandar esta operación se requiere un sistema de coordenadas más pequeño como el dibujo de diseño. De esta manera en la actualidad resulta posible hacer reducciones de 40,000 hasta 50,000 veces no por medios ópticos sino electrónicos. Las estructuras que se logran producir con este método sobre el chip, son superiores a 1 micrón.

SEMICONDUCTOR.

Semiconductores son materiales que en estado puro y a bajas temperaturas no tienen soportes de carga libres, o sea que son no conductores. La característica más importante de los semiconductores es que su conductividad eléctrica depende de cambios de temperatura, incidencia de la luz y grado de impurificación. Los semiconductores más conocidos son los tres elementos silicio, germanio, y selenio del Grupo IV del sistema periódico. También entran en base a elementos del Grupo III con elementos del Grupo V tienen características semiconductoras, por ejemplo galio (III) y arsenio(V) en el compuesto arsenuro de galio.

Cristales semiconductores son materiales técnicamente importantes para componentes electrónicos. En estos monocristales, por ejemplo silicio, mediante impurificación se producen las conductividades positivas y negativas deseadas de tal modo que surgen las estructuras eléctricas de un componente discreto o de un circuito integrado.

TÉCNICA MOS

MOS es la abreviatura para "metal-óxido-silicio". Se entiende por técnica MOS la estructuración por capas del elemento semiconductor de tal modo que una corriente de carga es conducida vía una capacidad de control. La capa inferior es de silicio, dentro del cual tienen lugar los procesos electrónicos.

Encima está la capa de óxido de silicio (SiO_2) como aislador eléctrico entre el semiconductor y el electrodo de mando. Finalmente, la capa superior es la metálica que tiene la función del electrodo de mando. En la técnica MOS se confeccionan

primordialmente los transistores, pero también diodos, condensadores y resistencia. Gracias a la posibilidad de poder estructurar los transistores en un sólo material con las capas de acuerdo al método MOS en forma mucho más sencilla (transistor Unipolar), esta técnica se constituyó en base para la miniaturización de los circuitos integrados.

TÉCNICA PLANAR.

En esta técnica todos los elementos activos de un circuito están dispuestos en lo posible en un solo nivel en la superficie del monolito, con lo cual se logra que los escalones del material, generados por los diversos pasos del proceso, sean lo más bajo posible de modo que no se constituyan en elementos de perturbación de las capas superiores.

BIBLIOGRAFIA

*** INTRODUCCIÓN A LA CIBERNÉTICA ***

Grogono,
Edit. Colección 70,
1ra. Edición en Español.

*** ROBÓTICA. CONTROL DETECCIÓN, VISIÓN E INTELIGENCIA ***

R.C. González,
Edit. Mc Graw-Hill,
1ra. Edición.

REVISTA * SPECTRUM , TOWARD AN ARTIFICIAL. EYE *

Institute of Electrical and electronics Engineers, Inc.
Mayo de 1996.

*** MANUAL DEL MICROPROCESADOR 80386 ***

INTEL,
México, 1985.

*** MANUAL DEL MICROPROCESADOR 80486 ***

INTEL,
México, 1992.

*** INTERCONEXIÓN DE PERIFÉRICOS A MICROPROCESADORES ***

Mompín,
Edit. Marcombó,
2da. Edición.

MANUAL * NICOLET INSTRUMENTOS, S.A. DE C.V. *

*** AUTÓMATAS PROGRAMABLES ***

Alejandro Porras Criado,
Edit. Mc Graw-Hill,
1ra. Edición.

*** PRINCIPIOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y SISTEMAS EXPERTOS ***

David W. Roalston,
Edit. Mc Graw-Hill,
1ra. Edición.

*** UTILIZACIÓN DE C EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL ***

Hebert Schildt,
Edit. Mc graw-Hill,
1ra. edición.

*** LOS CHIP'S Y SUS PERSPECTIVAS ***

Edit. Siemens Aktiengesellschaft,
1ra. Edición en español.

*** FUNDAMENTOS DE LOS MICROPROCESADORES ***

Roger Tokheim,
Edit. Mc graw-Hill,
2da. Edición.

*** MICROPROCESADORES, PROGRAMACIÓN E INTERCONEXIÓN ***

José María Urutuela M.
Edit. Mc graw-Hill,
2da. edición.

*** FISILOGIA HUMANA ***

Vander, Sherman, Luciano
Edit. Mc graw Hill,
2da. Edición en español.

*** MICROPROCESADORES, DISPOSITIVOS PERIFERICOS, OPTOELECTRÓNICOS Y DE INTERFAZ ***

Arthur B. Williams,
Edit. Mc Graw Hill, Serie de Circuitos Electrónicos.
1ra. Edición en español.