

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE ODONTOLOGIA

C.1.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTADES DE CC. MM. Y ODONTOLOGIA  
BIBLIOTECA

EL RAYO LASER Y SUS POSIBLES  
APLICACIONES EN ODONTOLOGIA

JOSE ANTONIO VALENCIA

1971

## CONTENIDO

	Pag.
1. Introducción.	i
2. Consideraciones Generales	1
2.1 MASER: Historia, tipos de masers, funcionamiento.	32
2.2 LASER: Historia, tipos de lasers, funcionamiento.	48
3. Propiedades físicas de la luz laser y su naturaleza.	64
4. Aplicaciones Generales y Médicas	67
5. Posibles aplicaciones del rayo laser en Odontología	74
6. Resumen y Conclusiones	90
7. Bibliografía	96

## INDICE DE ILUSTRACIONES

- Fig. IA Frecuencias medias ordinarias de los colores.
- Fig. IB Longitudes medias de onda de los colores que componen la luz blanca.
- Fig. III Diversos componentes de los masers de nivel múltiple.
- Fig. IV A, B, C, D, períodos de la estimulación de los átomos para producir luz amplificada.
- Fig. V Partes esenciales de un laser de cristal
- Fig. VI Partes esenciales de un laser de gas.

## 1. INTRODUCCION

El estudio del rayo laser tanto en sus acciones puramente físicas como biológicas es un campo novísimo e interesante y ha colocado, al científico en situaciones de duda y capacidad de generar cantidades de energía concentrada de una potencia desconocida.

Newton, Faraday, Hertz, Planck y Einstein, encabezan la lista de los científicos que con sus teorías unos y con sus experimentaciones otros condujeron a los científicos actuales a uno de los descubrimientos más extraordinarios de los últimos tiempos, como lo es el laser.

Los informes de las experimentaciones efectuadas a la fecha con el aparato laser son provenientes de grandes investigadores en el campo de las radiaciones y de la física, y realizadas en laboratorios acondicionados para llevar a cabo este tipo de investigaciones, como los que se hallan en Suecia, Estados Unidos, Inglaterra y Australia.

El primer laser fue construido por Maiman de Malibú, California en 1960 y a partir de esa fecha se ha venido experimentando. MASER Y LASER son dos vocablos nuevos que entran a formar parte del patrimonio del hombre moderno. Su descubrimiento, constituye uno de los más señalados adelantos científicos de estos últimos años.

Los términos MASER Y LASER dan en sí una clave de su significado, ya que están formadas por las iniciales de las palabras que en inglés forman las sentencias que los

describen. Al traducir estas frases descriptivas, es necesario recurrir a cierta transposición de las siglas, a efecto de que los términos coincidan con su nombre en inglés, por lo que, según algunos, en español constituyen anagramas y para otros acronimias. De todas formas su significado es el siguiente:

MASER: Microondas amplificadas por la emisión estimulada de radiación.

LASER: Luz amplificada por la emisión estimulada de radiación.

El presente estudio comprende una investigación bibliográfica sobre el tema, habiéndose realizado para el efecto una revisión de la literatura pertinente, presentando los hechos en una forma cronológica.

Siendo primordial en el desarrollo de un tópico de esta índole recordar algunos principios físicos fundamentales, inicialmente se ofrecen ciertas consideraciones generales. En este capítulo también se incluyen: un bosquejo histórico, los diferentes tipos y el funcionamiento del Maser y el Laser.

A continuación se explica la naturaleza y propiedades físicas de la Luz Laser, para luego tratar de sus efectos biológicos. Seguidamente se discuten los usos de la radiación laser tanto en la industria como en el campo de la medicina. Posteriormente se dan a conocer los experimentos llevados a cabo en el terreno odontológico, tendientes a encontrarle posibles aplicaciones. Se notará que en este as-

pecto ofrece ciertas potencialidades tanto en el ámbito de la prevención como en el tratamiento.

Completan este trabajo los capítulos referentes al resumen, conclusiones y bibliografía.

Se considera que es de utilidad hacer estudios de este tipo, ya que debido a que en nuestro medio no se cuentan con las condiciones favorables para experimentar directamente, si se está en capacidad de reunir, analizar, ordenar y difundir estos conocimientos, para beneficio de aquellos estudiosos que se interesan por estar al día con los últimos descubrimientos y avances de la tecnología, que ofrecen algún futuro en nuestra profesión.

## 2. CONSIDERACIONES GENERALES

En esta sección se siguen básicamente los lineamientos contenidos en la interesante obra de Klein, (1), de donde se condensaron en su mayor parte los conceptos expuestos y se adaptaron las ilustraciones contenidas en este trabajo.

La luz y las microondas son formas de radiación. - Considerada así, la velocidad de la luz ha sido medida con toda exactitud. En el espacio exterior o en el vacío, es de aproximadamente 299,780 Kilómetros por segundo.

Normalmente para sus cálculos, los científicos emplean la expresión de velocidad en Cm/seg. y se suele decir que es de  $3 \times 10^{10}$  Cm/seg. La cifra 10 después y por encima del primer 10, recibe el nombre de signo de potenciación e indica el número de veces que debemos multiplicar por sí mismo al número inferior.

Así por ejemplo:  $10^1 = 10$ ,  $10^2 = 100$ ,  $10^3 = 1000$ , así sucesivamente.

La velocidad de la luz en el vacío, permanece invariable en cualquier lugar, y es lo que científicamente se llama una constante y normalmente se representa por la letra c.

Desde tiempos remotos los hombres han contemplado extasiados la formación de los arcos multicolores del arco iris en el cielo. Los colores se suceden siempre en el mis

mo orden: ROJO, NARANJA, AMARILLO, VERDE, AZUL, VIOLETA.

Esta sucesión de colores quedó firmemente establecida cuando el físico Sir Isaac Newton, en el siglo XVII, logró reproducir el arco iris en el interior de un cuarto cerrado.

La luz emitida por un cuerpo brillante como el sol no es de naturaleza única o sencilla, sino una mezcla de componentes; para hablar un lenguaje científico deberá especificarse que partes o parte, son las referidas y cuan potentes son unas en comparación de otras.

Newton pensaba que la luz estaba formada por pequeños corpúsculos en corrientes que circulaban en línea recta, al rebotar sobre una superficie lisa se producía la reflexión. La refracción se producía al ser alterada la trayectoria por una lente o por un prisma. Este último lograba separar los corpúsculos rojos de los anaranjados, los amarillos, etc., etc.

Sin embargo una serie de experimentos logró demostrar que los corpúsculos lumínicos se comportan de modo distinto a cualquier partícula real o supuesta conocida hasta entonces.

De hecho a principios del siglo XIV la mayoría de los científicos estaban plenamente seguros de que la luz era una forma de movimiento ondulatorio.

Este convencimiento prevaleció por casi un siglo e in

cluso ahora no está refutado. Aunque se ha limitado grandemente su extensión.

Todos los movimientos ondulatorios poseen varios caracteres en común:

- 1) Las ondas consisten en cambios de energía.
- 2) Estos cambios o alteraciones avanzan a través de la materia o estructura sobre las que las ondas se forman.
- 3) La forma de la onda se repite a intervalos fijos, como por ejemplo las ondas que se forman en el agua, que oscilan alternativamente entre crestas (NODOS) y valles (VIENTRES), para volver a la cresta de nuevo.  
La distancia entre dos puntos correspondientes entre la distribución de ondas, recibe el nombre de LONGITUD DE ONDA. Lo que es igual a la longitud entre dos nodos o vientres entre sí.
- 4) El número de ondas completas que pasa por un punto dado en la unidad de tiempo, recibe el nombre de frecuencia. Una onda completa forma un ciclo. La frecuencia generalmente se expresa en ciclos por segundo o abreviadamente en HERTZ. La frecuencia de algunas ondas deberá ser expresada en horas, días o intervalos mayores aún.
- 5) El movimiento ondulatorio queda definido al determinar tres medidas básicas: La Longitud De Onda,  $w$ ,

La Frecuencia,  $f$ , y La Velocidad,  $v$  con la que la onda se desplaza en su dirección de propagación. Una cómoda y sencilla relación nos permite deducir cualquiera de estas tres magnitudes si se conocen las otras dos:

$$v = f\lambda, \quad f = v/\lambda, \quad \lambda = v/f$$

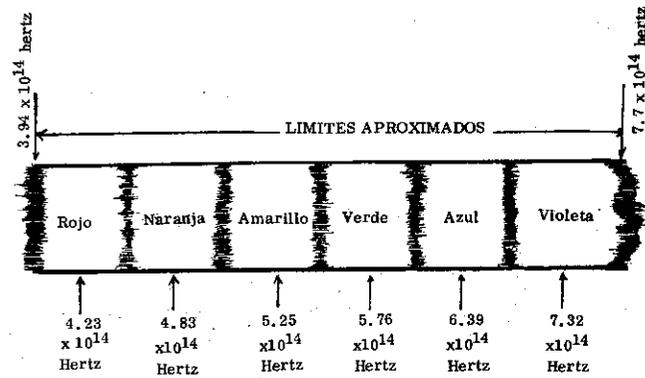
Estas relaciones deben cumplirse para cualquier forma de radiación. También pueden emplearse en el estudio del movimiento ondulatorio que llamamos sonido. La frecuencia medida en HERTZ es un concepto que constituye un modo fácil de medir la radiación. La longitud de onda es reducida conforme más refractorio sea el cuerpo que encuentre a su paso. La frecuencia no resulta alterada ya que es independiente del medio que está atravesando.

La frecuencia de la luz y el modo de transmitir energía, se hayan íntimamente relacionados, de tal modo, que condujo a los investigadores al descubrimiento de los principios en que se basan los MASERS Y LASERS.

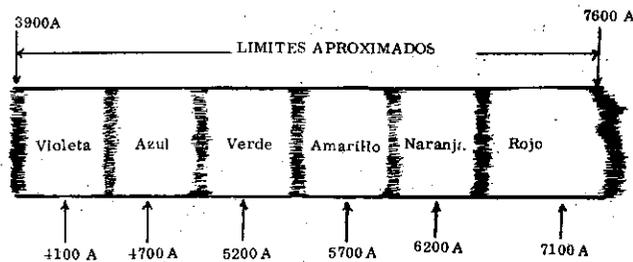
Para medir las longitudes de onda se emplea con frecuencia una unidad normal llamada MICRON, equivalente a una millonésima de centímetro,  $10^{-6}$  cm., o bien el Angström A, que equivale a una cienmillonésima de centímetro,  $10^{-8}$  cm.

Empleando unidades angström, la gama completa de luz visible tiene una anchura de 4000 A; es decir, que desde el violeta de menor longitud visible (3900 A), al rojo

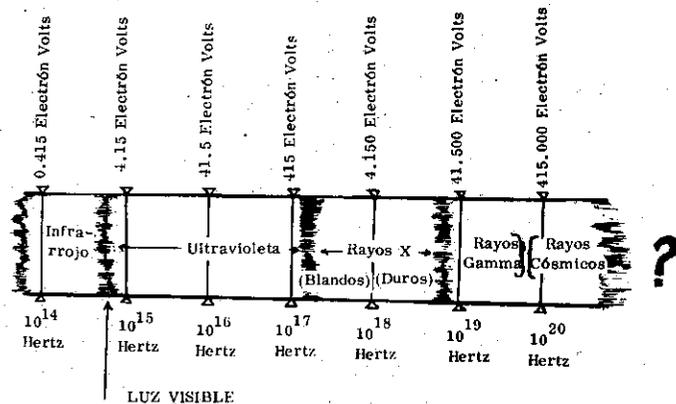
visible de mayor amplitud ( 7600 A ), hay una diferencia de menos de 4000 A, la anchura media de cada una de las seis zonas de color del espectro de luz blanca es ligeramente superior a los 600 A. En la figura IA se muestran las frecuencias medias ordinarias de los colores que forman la luz blanca, expresadas en HERTZ, mientras que la figura IB, representa longitudes medias de onda en unidades Angström. Se puede notar que las frecuencias y la longitud de onda son inversamente proporcionales.



IA. FRECUENCIAS MEDIAS ORDINARIAS DE LOS COLORES QUE COMPONEN LA LUZ BLANCA (EXPRESADAS TODAS ELLAS EN HERTZS).



IB. LONGITUDES MEDIAS DE ONDA DE LOS COLORES QUE COMPONEN LA LUZ BLANCA (EXPRESADAS TODAS EN ANGSTROMS)



IC. ESPECTRO DE RADIACION DE LAS FRECUENCIAS MAS ELEVADAS DESDE EL EXTREMO DEL INFRARROJO HASTA LOS RAYOS COSMICOS.

Hay que tener en cuenta que, a pesar de que el violeta superior tiene una frecuencia de menos del doble del rojo más bajo, la diferencia en cuanto al número de Hertz es enorme entre ellos. Esto implica que el extremo superior o color violeta es el resultado de una vibración que acontece con una frecuencia de  $3.7 \times 10^{14}$  o sea 370 billones de veces mayor que las vibraciones productoras del color rojo.

Dicha diferencia  $370^{12}$  de Hertz, constituye una respetable anchura de banda.

Incluso las vibraciones más lentas del espectro de luz visible resultan excesivamente rápidas comparadas con las acciones y reacciones de la mente y nervios humanos.

Para penetrar en este fenómeno es conveniente estudiar el magnetismo y la electricidad en lo que se refiere a las vibraciones electromagnéticas. Los movimientos de las partículas de agua en la superficie o en su proximidad son la causa de la formación de las ondas y vibraciones sobre su superficie.

Las ondas de aire comprimido y sus opuestas, las de aire rarificado viajando a través del aire producen las vibraciones sonoras. Pero, cuando la luz oscila billones de veces por segundo, ¿qué es lo que está vibrando realmente? Las teorizaciones sobre magnetismo, electricidad, calor, temperatura y estructura de la materia han producido una nueva comprensión de la radiación.

Durante la primera mitad del siglo XIX se hicieron multitud de descubrimientos básicos sobre la electricidad

y el magnetismo.

MICHAEL FARADAY para justificar sus hallazgos de sarrolló la idea del campo de fuerza. Todo imán puede re presentarse con ayuda de un sistema de líneas de fuerza y mediante sus direcciones podemos deducir si otros cuerpos magnéticos, en el supuesto de que se encuentren suficiente mente cerca, serán atraídos o repelidos.

De modo parecido sucede con las líneas de fuerza eléctrica rodeando cuerpos con carga eléctrica.

Los grandes principios en que se basa la moderna tecnología eléctrica son los siguientes:

- 1) Todo cambio de intensidad o de posición en las líneas de fuerza de un campo magnético ejerce una fuerza sobre los cuerpos eléctricamente cargados situados en el interior del campo. O sea que los cambios en los campos magnéticos producen efectos sobre los campos eléctricos.
- 2) Inversamente a lo anterior, todo cambio de intensidad o posición en un campo eléctrico ejerce fuerza sobre los cuerpos magnéticos situado en el interior del campo.

El paso de la corriente eléctrica a través de un conductor desplaza a un imán situado en su proximidad. Por otra parte, el movimiento de un imán alrededor de un conductor induce un flujo de electrones sobre este.

MAXWELL encontró que las alteraciones resultantes en el campo, debían ser irradiadas hacia el exterior de la

región recorrida por la partícula oscilatoria.

Posteriormente dedujo que difícilmente podía evitarse sacar la conclusión de que la luz "Consiste en las vibraciones transversales del mismo medio que provoca los fenómenos eléctricos y magnéticos". Este medio fue lo que llamó campo electromagnético, en razón de que se hallaba relacionado con el espacio que rodeaba a los cuerpos eléctricos y magnéticos. A este concepto le llamó "Teoría dinámica".

Más allá del rojo visible, las personas pueden notar a través de su epidermis el calor, es decir radiaciones que no podrían ser detectadas por los ojos. Estas recibieron el nombre de infrarojos, ya que se hallaban por debajo del rojo.

Actualmente se considera que la región del infrarojo se extiende desde frecuencias justamente inferiores a las de la luz roja hasta aproximadamente las frecuencias  $1 \times 10^{12}$  ciclos por segundo o hertz equivalente a una longitud de onda de  $1/300$  cm. La gama de frecuencias o amplitud de banda de esta región es aproximadamente de  $4 \times 10^{14}$  hertz, o sea ligeramente mayor que la amplitud de banda total de la luz visible en la región superior. Por encima del violeta visible, se conocía otro tipo de radiación: Ultravioleta. Estos rayos eran particularmente potentes en impresión de placas fotográficas, dando lugar a ciertas reacciones químicas y provocando la descarga de piezas metálicas cargadas eléctricamente.

El Físico HEINRICH HERTZ descubrió que producién

do descargas con corrientes eléctricas oscilatorias de alta frecuencia, entre dos saltachispas, podía provocar oscilaciones inducidas en circuitos similares, situados a distancias. Es natural que desde el transmisor activado al receptor, tenía que existir algún tipo de ondas y al principio a ellas se les llamaron "ondas Hertzianas". "Actualmente reciben el nombre de ondas de radio".

Por encima de estas frecuencias de radio se encuentran las microondas que ocupan hasta los  $3 \times 10^{11}$  hertz aproximadamente, o sea una longitud de onda de un milímetro.

Las microondas no tienen un final, sino que simplemente se confunden con las frecuencias de las radiaciones inferiores del infrarrojo. Las microondas de frecuencia superior resultan idénticas a las ondas infrarrojas de frecuencia inferior.

En la zona donde coinciden, entre  $3 \cdot 10^{11}$  y  $9 \cdot 10^{11}$  hertz, las únicas diferencias están en los distintos métodos empleados o propuestos para crear estas radiaciones, más que en las radiaciones mismas. Del mismo modo que el espectro luminoso es continuo, fundiéndose un color en el siguiente, sin barrera de separación, asimismo el espectro electromagnético completo, por debajo de la luz es continuo. Existen grandes diferencias entre el comportamiento de las radiaciones al recorrer la escala de frecuencias en uno y otro sentido pero no existen fronteras, ni fallas que el hombre no espere cubrir en su exploración del sorprendente mundo de la radiación.

El Físico W. K. Röntgen, mientras disparaba chorros de electrones a alto voltaje, hacia puntos situados en el interior de tubos al vacío, descubrió algo sorprendente. Aparecía un tipo de radiación desconocida, capaz de atravesar la madera o la carne conservando suficiente energía para impresionar película fotográfica o pantallas fluorescentes.

Estas radiaciones se llamaron rayos X. Actualmente se sabe que rayos Röntgen o rayos X encajan dentro del espectro de radiación electromagnética, por encima de las frecuencias más elevadas de ultravioleta.

El comportamiento de las radiaciones se altera al cambiar la frecuencia. Los rayos X de frecuencias menor resultaron menos penetrantes, menos explosivos en cuanto a sus efectos sobre la materia. Por esto recibieron el nombre de rayos X "Blandos". Los más elevados en la escala, que solo podían ser producidos por electrones acelerados, se llaman normalmente rayos X "Duros".

A estas enormes frecuencias, la longitud de onda se emplea muy raramente como medida. En realidad, existe una medida de más utilidad que la frecuencia que se halla relacionada con ella; es el electrón volt, medida de intensidad de la energía.

Los rayos X no constituyen el nivel más elevado en el espectro de la radiación. Al descubrirse la radiactividad, se encontró que ésta venía siempre acompañada de varios rayos procedentes de la rotura del núcleo atómico. Uno de los tipos, el llamado rayos Gamma, no sufría distorsión al

atravesar un campo magnético. Dentro de la escala de dureza o energía, los rayos Gamma vinieron a ocupar un lugar más elevado que los rayos X.

Más adelante el estudio de unas sorprendentes radiaciones y partículas que llegaban a la tierra desde la atmósfera exterior, demostró que contenían energías mayores que los rayos Gamma más potentes, que los que eran capaces de emitidos por fuentes en la tierra.

Estas radiaciones, procedentes de el espacio exterior recibieron el nombre de rayos "cósmicos" con un grado de energía correspondiente a  $10^{20}$  hertz, aproximadamente; o sea, mil veces mayor que las radiaciones ultravioletas más fuertes. Para la comprensión de la radiación, es necesario un conocimiento de la extensión de la gama de radiaciones y de su completa continuidad. Es decir que se pueden encontrar radiaciones equivalentes a una frecuencia tan grande como la de los rayos cósmicos, pero en el extremo opuesto podemos encontrar radiaciones electro magnéticas de frecuencia  $6 \times 10$  hertz. Estos dos extremos, tienen ciertas propiedades en común:

1. Velocidad. Toda radiación viaja por el vacío a la velocidad de la luz.
2. Continuidad. No existe salto brusco alguno ni barrera de separación entre las radiaciones de una frecuencia definida y las radiaciones de una frecuencia ligeramente superior o inferior.
3. Reconocimiento. El reconocimiento de una radiación

definida con respecto a la materia que la emite o que la absorbe permanece constante. Definidas la frecuencia e intensidad de una radiación sus efectos pueden predecirse de antemano.

El gran físico danés precursor de la ciencia atómica, NIELS BOHR dijo "la radiación es la transmisión de energía entre cuerpos materiales distanciados entre sí".

La energía se define a su vez como la posibilidad de realizar un trabajo. Es decir que radiación y energía son dos entes inseparables.

4. Energía inmaterial, es movimiento. La radiación transporta energía sin necesidad de un substrato material, a la velocidad de la luz.
5. Origen material. Las radiaciones siempre son emitidas por la materia. Esta emisión representa invariablemente una transmisión de energía. La materia pierde energía y una cantidad de energía correspondiente parte a la velocidad de la luz en forma de radiación.
6. Conversión en materia. La radiación deja de serlo únicamente al convertirse de nuevo su energía en materia. Al alcanzar la radiación una materia capaz de absorber su energía, la materia gana energía en grado. En síntesis, la energía no se pierde nunca.
7. Transferencia. Este traspaso, de energía constituye un aspecto importante de la radiación ya que este es

el único modo por el que un cuerpo material puede transmitir energía a otro, exceptuando, el contacto material. La radiación puede considerarse como un modo de almacenar energía en el espacio, ya que por grande que este sea, continúa viajando sin pérdidas de ninguna clase, sin cambiar velocidad, frecuencia, hasta su absorción final.

Por esto la radiación debe ser estudiada siempre en función de su interacción sobre la materia y las estructuras materiales.

Este constituye el único método de aproximación en su estudio. La radiación es capaz de revelarnos los secretos más internos de la materia.

El progreso científico ha sido en su mayor parte debido a la creciente habilidad del hombre para recibir, medir e interpretar la radiación.

Hace cien años apenas se sospechaba, la existencia de radiaciones naturales del tipo de microondas y, sin embargo, hoy, los astrónomos, con ayuda de poderosos radio telescopios recogen y estudian las radiaciones de este tipo que constantemente nos llegan desde el espacio exterior.

Existen por ejemplo radiaciones muy importantes de frecuencias situadas alrededor  $7 \times 10^{10}$  hertz.

La mayor parte de aparatos contruídos por el hombre para reproducir la luz, presentan las mismas ventajas que presenta el sol; transforman la materia en masa incan-

descente al liberar su energía a través de la combustión: aceites carburantes, cera para velas, gas del alumbrado, etc. Al aumentar la temperatura de la materia, mediante exposición al calor las moléculas se mueven en cada dirección, algunas de ellas al vibrar llegan a emitir calor, (infrarojo). Algunos átomos pueden alcanzar un nivel de excitación suficiente para emitir luz.

La corriente eléctrica hace posible la existencia de fuentes de luz mucho más poderosas (arcos voltaicos, por ejemplo), prácticas (bombillas de filamento de tungsteno) e incluso con menor pérdida de energía al calentarse (tubos de neón y tubos fluorescentes). Pero, en general, todas las fuentes enumeradas emiten luz de frecuencias mezcladas discontinuas y difusas.

La clave debía residir en lograr de algún modo radiaciones coherentes y controlables, a frecuencias mucho más elevadas de las que se pudiera obtener con cualquier circuito, válvula o resonador contruído hasta entonces.

Los átomos y las moléculas que forman la materia son demasiado pequeños para poder ser distinguidos a simple vista. Se puede decir con mucha seguridad el número exacto de moléculas que están en movimientos en el interior de  $1 \text{ cm}^3$  de gas a cierta temperatura y presión, pero nadie puede imaginarse en términos comparables a lo que se ve diariamente, lo que en realidad sucede en el microcosmos.

Las moléculas de materia, se hallan en movimiento constante. Cualquier materia en movimiento, por pequeña

que sea, posee una cierta cantidad de energía en razón de su movimiento. A mayor velocidad mayor es la energía presente. La energía se define como la capacidad de realizar trabajo. Cuando más rápida es la partícula, mayor es el trabajo que puede realizar.

La materia se presenta en varios estados, sólido, líquido o gaseoso. Añadiéndole o restándole energía, podemos hacerla cambiar de un estado a otro. Una parte de esta energía puede permanecer en la materia como energía de posición o energía potencial.

Otra parte de la energía aparece como energía de movimiento de las partículas o energía cinética.

Si se toma como punto de partida un sólido frío y se le añade gradualmente energía mediante calentamiento, las moléculas del sólido vibran y oscilan alrededor de posiciones más o menos fijas dentro de su superestructura. Al ganar energía vibran más rápido y sobre un espacio mayor.

Finalmente empiezan a deslizarse unas con respecto a las otras. Entonces se dice que el sólido se está fundiendo y transformando en líquido. Si se continúa calentando el líquido, sus moléculas saltan y se mueven cada vez con mayor energía. Algunas, al adquirir suficiente velocidad, se apartan del resto y escapan a través de la superficie; es decir, se evaporan. Otras las siguen en número cada vez mayor. Finalmente, todas se encuentran saltando, chocando en el aire y moviéndose caóticamente, penetrando en todos los rincones posibles del recipiente. Entonces se asevera que el líquido por ebullición, se ha convertido en un vapor de gas.

La energía que se ha añadido en cada caso, probablemente ha tomado una forma, calor externo, transmitido a las moléculas ya sea por contacto, por conducción, o por radiación. Normalmente el proceso implica una parte de cada fenómeno.

Los cambios inversos pueden producirse también si se supone que restamos energía al gas, lo que equivale a decir que lo enfriamos, la velocidad media de las moléculas se reduce y empiezan a aglomerarse y a deslizarse en sentido contrario al anterior. Empieza la condensación. Un enfriamiento continuado liquidará o licuará todo el gas.

Se extrae aún más energía del movimiento de las moléculas mediante un enfriamiento progresivo, su energía no basta para resistir las fuerzas que tienden a colocarlas en relaciones estructurales fijas.

Empieza el congelamiento. Muchas substancias, al congelarse, adoptan el aspecto cristalizado. Lo que era líquido se ha convertido en un sólido.

Los cambios de energía de las partículas que forman la materia son la razón oculta de los cambios de estado. Algunos cambios de energía están reflejados en el cambio de energía de posición o estructura; es comparable a la energía almacenada en el muelle o resorte de un reloj al que se le haya dado cuerda. Otro tipo de energía, aparece a través del movimiento de las partículas que forman el gas, líquido o sólido.

Este último tipo es la energía de movimiento o ener-

gía cinética. Lo que se conoce por temperatura, no es sino una aproximación de la energía cinética.

Técnicamente, se emplea casi exclusivamente una escala que coloca al cero tan abajo como es posible; en el punto donde se creía que la materia perdía toda su energía. Este "cero absoluto" está un poco más de  $273^{\circ}$  por debajo del cero centígrado que, como se sabe, es el punto de congelamiento del agua.

La escala absoluta se llama también de Kelvin en honor al científico y Lord Inglés del mismo nombre, y se representa por la letra K, del mismo modo que la letra C indica centígrados o Celsius. Quizá sea útil recordar que el punto de congelación del agua se encuentra a  $273^{\circ}$  K, el punto de ebullición al nivel del mar se encuentra a  $373^{\circ}$  K y lo que se conoce como temperatura ambiente a unos  $300^{\circ}$  K.

Si se conecta un calentador eléctrico o la resistencia de una estufa eléctrica, la temperatura aumenta inmediatamente. Las moléculas del metal son chocadas y agitadas por ondas crecientes de electrones que constituyen la corriente eléctrica.

En seguida se nota el calor que irradia del metal calentado. La energía irradia desde la resistencia y a ésta se le llama energía radiante.

Si la temperatura prosigue aumentando los órganos visuales también son capaces de percibir esta energía, ya que el metal empieza a brillar con un color rojo mate que gradualmente se transforma en rojo vivo. Si la corriente

es lo suficientemente potente la energía radiante continúa aumentando hasta observarse un rojo blanco característico. Este fenómeno puede notarse mejor al conectar una bombilla eléctrica y observar el filamento de tungsteno que irradia una mezcla de frecuencias que se conoce como luz blanca". Las radiaciones de un arco eléctrico o de una lámpara de vapor de mercurio, son aún más vivas en frecuencias azules y violetas que las de una lámpara de tungsteno. Ello se debe a que algunas sustancias como el tungsteno, permanecen sólidas al calor blanco, otras en cambio se funden antes de alcanzar el rojo. Pero existía una coincidencia: todas las sustancias, sea cual fuese su estado emiten el rojo vivo a la misma temperatura lo mismo que el rojo blanco.

Al observar el calor irradiado se puede asegurar con bastante exactitud la temperatura de la sustancia, ya sea acero, bronce, oro, plata o el vidrio; evidentemente existe alguna relación entre la temperatura y las frecuencias a las que la energía es irradiada.

Durante el siglo XIX se estudió completa y cuidadosamente esta relación; algunos de los resultados de este estudio ayudan ahora para el conocimiento de los Masers y Lasers. Se observó que el modo más rápido de avanzar en este estudio consistía en observar sobre la forma más completa y resistente de radiación, sobre la radiación del llamado "Cuerpo Negro", que es emitida a temperatura constante por un cuerpo que es radiador perfecto en todas las frecuencias. Este cuerpo debe absorber también perfectamente cualquier frecuencia puesto que ambas cualidades están en razón directa.

La materia, al calentarse, emite, según parece, cantidades enormes de energía. Al estar la materia en estado de equilibrio térmico con la radiación que la rodea, se absorben cantidades de energía igualmente considerables.

Se ha calculado la energía contenida en un instante cualquiera en un  $\text{cm}^3$  del espacio exterior y la contenida en un  $\text{cm}^3$  de metal calentado. La diferencia es enorme por ejemplo a 1,200 grados Kelvin una partícula de metal contenida aproximadamente  $1.3 \times 10^{12}$  veces más energía que el mismo volumen de aire en la cavidad; esto quiere decir que existía una diferencia de más de un millón de millones de veces.

¿Cuál era la razón para que la energía permaneciera asociada de un modo íntimo a la materia? ¿Por qué una parte tan reducida de energía abandonaba la materia en forma de radiación para luego volver a ella? ¿Por qué la energía se hallaba tan concentrada en la materia y tan extremadamente diluida en el espacio?

Hasta ese entonces no se había encontrado ninguna fórmula matemática sencilla que describiera la exacta distribución de las radiaciones emitidas por la cavidad del cuerpo negro a distinta temperatura. Una de las fórmulas, desarrollada por WEIN, lograba armonizar los datos observados para frecuencias elevadas y temperaturas bajas, pero presentando diferencias en los resultados obtenidos a baja frecuencia y temperaturas elevadas. Otra fórmula la llama de RAYLEIGH-JEANS, era aplicable para bajas frecuencias y temperaturas elevadas; es decir para casos extremos, pero resultaba inaplicable para frecuencias elevadas.

MAX PLANCK intentó armonizar ambas fórmulas y para ello se vio obligado a hacer una suposición tan revolucionaria, tan distinta de todo lo que la ciencia había aceptado antes de 1900. A esto le llamó teoría de la radiación del calor.

Planck llamó quantum a la menor unidad de energía capaz de ser irradiada a una frecuencia específica. Con esto demostró que tanto la energía como la materia deben poseer una estructura atómica. Existe una unidad mínima de energía posible para cada frecuencia de radiación. El quantum es directamente proporcional a la frecuencia de radiación, de tal modo que si dobla su valor, el contenido energético del quantum será doble.

La proporción existente entre la frecuencia, expresada en ciclos por segundo o Hertz, y la cantidad de energía encerrada en un quantum es una proporción constante e invariable, como la velocidad de la luz.

Demostró, también que esta constante que se representa por la letra "h" está ligada por la siguiente relación:  $e = hXf$ . En donde "e" es la energía de un Cuanto de radiación y "f" la frecuencia a la que se irradia la energía.

La constante "h" conocida como constante de PLANCK, ha sido medida con toda exactitud y se emplea constantemente en todas las medidas básicas de física.

Se sabe que los átomos son invisiblemente pequeños, por lo que la cantidad de energía capaz de ser emitida o ab

sorbida por uno de ellos deberá ser también pequeñísima. Además, siendo el tamaño de los átomos reducido, la longitud de onda de sus vibraciones electromagnéticas es pequeña y por consiguiente la frecuencia elevada.

Por lo que de acuerdo a los últimos cálculos  $h$  es igual  $6,625 \times 10^{-27}$  erg/seg. Al expresar la razón existente entre la energía medida en ergs y la frecuencia medida en hertz,  $h$  debe representar a la vez energía en ergs y tiempo en segundos. La combinación de ambas unidades es a veces llamada acción por lo que la  $h$  es designada a menudo por la "Constante de acción de Planck".

Incluso sin ayuda de las matemáticas se puede comprobar que influencia tiene la constante  $h$  sobre los fenómenos que se suceden a nuestro alrededor. Significa que cuanto más elevada sea la frecuencia, o lo que es lo mismo, cuanto menor sea la longitud de onda de radiación, mayores serán las unidades de energía en que nos alcanzarán estas radiaciones. La frecuencia de la luz violeta situada en el extremo del espectro visible, es aproximadamente el doble de la luz roja situada al final. Se conoce pues que la luz violeta viaja siempre en Cuanta de un tamaño doblemente superior a los de la luz roja "quizá esto constituya la clave del fenómeno provocado sobre ciertas reacciones químicas por la luz violeta acelerándolas, fenómeno que no sucede de ningún modo empleando luz roja.

Probablemente puede también sugerirnos la razón por la cual la piel se broncea bajo los rayos violeta y no muestra reacción alguna al rojo y al infrarrojo.

En una serie de brillantes estudios empezados en 1905, Einstein aplicó el concepto a un problema físico tras otro. La fecha de inicio puede ser fijada con toda exactitud. Coincide con la publicación de su estudio, primero en 1916 en Zurich y en 1917 en Berlín, su título es: "Estudio sobre la teoría cuántica sobre la radiación". Con ayuda de la interpretación cuántica Einstein indicó el camino que posteriormente condujo a los Masers y Lasers y aunque no hace en él mención alguna sobre ellos.

En sus estudios fueron introducidas respuestas a los agudos problemas que se suscitaron en los primeros tiempos de la teoría cuántica de la radiación.

Einstein puso de relieve que los Cuanta de radiación actuaban como partículas móviles dándoles el nombre de fotones. Este nombre ha prevalecido hasta el presente. La primera sílaba implica que se trata de unidades de luz y la segunda que cada partícula es comparable a un electrón.

Los electrones tienen carga negativa; los fotones no poseen carga alguna; los electrones móviles poseen energía, en una cantidad dependiente de la velocidad a que circulan; los fotones se hayan siempre en movimiento, a la misma velocidad, que es la velocidad "c" del sonido. Los fotones poseen energía, en cantidad marcada por la frecuencia "f", de las ondas electromagnéticas a que corresponden (de acuerdo a la fórmula  $e = hxf$ ). Einstein demostró que la energía y la masa eran equivalentes ( $E = mc^2$ ). Por lo que la energía de un fotón debe actuar como una masa medible por  $M = hf/c^2$ , donde "M" es la masa en gramos, "f" la frecuencia en hertz y "h" y "c" las constantes ya conocidas.

Cuando una masa se mueve adquiere un momento igual al producto de la masa por la velocidad. Un fotón circula a la velocidad "c". Así su momento debe ser el producto  $cXhf/c^2$ . Al ser h y f constantes y permanecer invariable su valor, su momento deberá ser proporcional a la frecuencia. Es decir, que frecuencia significa doble momento.

Existe otro importante concepto que debe su origen a las investigaciones de Einstein sobre los problemas de radiación. Es la completa correspondencia que existe entre los cambios de energía en el átomo emisor o absorbente de fotones y el contenido energético o quantum de energía transportado por el fotón emitido o absorbido. Un átomo que emite un fotón pierde exactamente el contenido energético de aquel fotón a la inversa si absorbe uno.

A veces resulta conveniente enunciar este fenómeno de modo inverso: Cuando un átomo pierde una cantidad de energía por emisión, el fotón resultante transporta consigo la misma cantidad de energía; esto implica que; el fotón debe poseer el equivalente energético o frecuencia que corresponde al salto de energía efectuado por el átomo que lo emite o absorbe.

Un átomo emisor sufre un descenso en su nivel energético pasando de un estado más elevado a otro menos elevado. Un átomo absorbente efectúa un salto pasando de un nivel menos energético a otro más energético.

Los átomos solo efectuarán aquellos cambios, ya sea hacia arriba o hacia abajo, que encajen dentro de sus posi-

bilidades o de sus escalas de niveles de energía.

Con esto se deduce que cada átomo se halla cuantificado; es decir; que tiene su propia escala de niveles de energía posibles. Solo puede absorber Fotones cuyo tamaño o frecuencia dentro de uno de los posibles saltos de energía de un nivel a otro inferior.

Cuando un cuerpo se halla en equilibrio térmico su temperatura permanece constante, al igual que su poder de radiación a cada frecuencia o dentro de cada banda de frecuencias, desde un extremo del espectro a otro.

Esto significa que si una frecuencia representa una unidad cualquiera de energía, habrá tantas unidades emitidas en forma de fotones como absorbidas, existiendo un equilibrio a aquel nivel. En un nivel de doble frecuencia, la unidad doble de energía se encontrará también en equilibrio y mientras esto dure, en cualquier intervalo de tiempo, se emitirán tantos fotones como fotones sean absorbidos.

Y así será para cualquier frecuencia que escojamos. Si un cuerpo negro se encuentra en equilibrio radiactivo, significa que a cada nivel energético existe un balance perfecto entre las emisiones y absorciones, de no ser así, las lecturas correspondientes a la temperatura y radiación no podrán permanecer constantes a un mismo valor.

Antes que Einstein publicara sus investigaciones en 1916-17, los mejores científicos atómicos incluyendo a Niels Bohr, habían dado por supuesto que, de el mismo modo que existía una clase de absorción debía existir una cla-

se de emisión. A esta se le llama "Emisión espontánea" y se efectúa del modo siguiente:

Un átomo, al activarse, gana energía. Siguiendo la tendencia general de la materia de alcanzar estados de menor energía, el átomo emitirá, tarde o temprano, esta energía en forma de un fotón. Esta emisión está supeditada a lo que se podría llamar la decisión del átomo. Puede efectuarse pronto, o tarde. Existe un promedio de tiempo, período de semidesintegración o vida media, durante el cual la mitad de una gran masa de estos átomos habrán emitido cada uno un fotón. Se puede medir esta vida media para una clase particular de átomos activada a un nivel particular de energía, con lo que resulta posible predecir la cantidad total de radiación espontánea susceptible de producirse en la próxima diezmillonésima de segundo, por ejemplo. Pero resulta imposible predecir cuando un átomo en particular emitirá un fotón, y lo que es más importante aún en la emisión espontánea, el momento en que el átomo "x" decide emitir su fotón, no tiene absolutamente ninguna relación con el momento en que los átomos de su alrededor emitirán los suyos. Cada átomo está "a solas", en lo que a esta emisión respecta. Únicamente permanecen constantes los promedios para una masa elevada de estos átomos.

Einstein encontró que debía existir algún tipo de emisión, además de la espontánea. Hacía falta algo más para reconciliar lo que se sabía acerca de los sistemas de radiación y de las transferencias de calor de la materia bajo radiación. Lo que faltaba era una fuente de radiaciones adicionales que variara de acuerdo a la cantidad de radiación que penetrara en la materia.

Precisamente el proceso opuesto, es decir, la absorción, presentaba este tipo de variación. La emisión espontánea debería reaccionar de un modo parecido ante la intensidad con que llegara la radiación. Einstein encontró, que, a temperaturas elevadas, la emisión espontánea sólo podía constituir una pequeña parte de las emisiones totales que debían efectuarse para equilibrar las absorciones. Debía existir, por consiguiente, una fuente de emisión no espontánea. Además demostró que las emisiones espontáneas a cualquier temperatura contenían también una cantidad de fotones a baja frecuencia incapaz de contrarrestar la cantidad de fotones de alta frecuencia necesarios para el balance de frecuencias.

Es evidente que esta emisión no espontánea, hasta entonces desconocida y no identificada, debía ser especialmente activa a bajas frecuencias y a temperaturas totales y elevadas de la materia. Actualmente a esta radiación se le llama "emisión estimulada".

Algunos investigadores le dan otros nombres como emisiones inducidas, y emisiones forzadas, que vienen a ser sinónimos.

Antes de el descubrimiento de EINSTEIN se conocían dos posibilidades de interacción entre la radiación (fotones) y la materia (átomos):

Primer caso (Emisión espontánea): los átomos activados emiten fotones. Estos átomos descienden a niveles de energía, perdiendo la actividad, y los fotones trasladan cantidades correspondientes de energía hacia el campo elec-

tromagnético que rodea a los átomos.

Segundo Caso (Absorción): Los átomos que se encuentran en un estado de no activación son bombardeados por fotones de tamaño adecuado. Se producen absorciones a través de las cuales desaparecen algunos fotones y se activan algunos átomos al ganar las cantidades de energía correspondientes. Einstein demostró la posibilidad de un tercer caso que nadie había previsto (emisión estimulada):

Los fotones caen sobre los átomos activados, con lo que se producen emisiones estimuladas. Cada una de ellas consiste en la emisión por parte de un átomo de un fotón de iguales características que el fotón estimulante. Ambos fotones el estimulador y el estimulado, parten en idéntica dirección. La probabilidad de esta emisión estimulada puede indicarse con la letra P y tal como en el caso anterior la posibilidad de que en el siguiente segundo un átomo activado sea estimulado para la emisión, estará también entre 0.1 y  $1 \times 10$ .

Cada emisión estimulada representa la aparición de un fotón adicional y la conversión de una cantidad de materia correspondiente a la energía del fotón en radiación.

Estos tres procesos acontecen simultáneamente en el mismo cuerpo material; bajo la influencia del mismo bombardeo de fotones, la emisión espontánea permanece inafectada por la presencia de estas radiaciones; la absorción y la emisión estimulada suceden únicamente con ayuda de estas radiaciones.

En todo equilibrio térmico el número total de absorciones es contrarrestado en todo momento por la suma total de las emisiones estimulada y espontánea.

Cabe preguntarse: ¿Cuál es la razón por la que se desea alterar de tal modo la distribución de los átomos?, simplemente porque de este modo se puede provocar una gran cantidad de emisiones estimuladas. Una emisión estimulada presenta raras particularidades que no se ven en las emisiones espontáneas. La existencia de emisiones estimuladas o provocadas, no sospechada antes de Einstein, demuestra cuan estrictamente deben interpretarse los hechos observados.

La emisión espontánea, acontece por razones internas; los átomos que emiten espontáneamente lo hacen por separado y al azar, se puede predecir el número de átomos que emitirán espontáneamente entre un trillón de átomos activados, dentro de la próxima millonésima de segundo, pero no se puede señalar que átomo emitirá a continuación. Se sabe que los fotones generados espontáneamente saldrán en todas direcciones completamente al azar. Los átomos que los emiten están en continua vibración o movimiento, sin que exista concordancia en ellos en cuanto a dirección. Por lo tanto una emisión espontánea es necesariamente dispersa.

Por otra parte la emisión estimulada sucede como reacción a la llegada de un fotón del mismo contenido energético que el emitido por el átomo. La sincronización es exacta y la emisión se encuentra en concordancia con la radiación estimulada.

Este concepto no fué siempre aceptado, sino hasta que se conocieron los trabajos teóricos de P.A.M. DIRAC, de la Universidad de Cambridge. Antes de 1930, la teoría cuántica demostró que la emisión estimulada debía producirse en completa concordancia entre los fotones estimulantes y los estimulados. Y esta cubría todos los aspectos de las ondas electromagnéticas debiendo ser idénticas en cuanto a dirección, frecuencia, fase y polarización. La identidad de fase implica que las ondas estimulantes y estimuladas permanecen completamente sincronizadas.

En la interpretación cuántica se hallan estos dos fotones realmente separados. Con ayuda de la interpretación electromagnética del movimiento ondulatorio, se puede, sin embargo, decir que juntos representan un sistema de ondas único, transportando el doble de energía del sistema de ondas que se aproxima en un principio al átomo.

Los científicos opinan a veces que la absorción es lo contrario de la emisión estimulada en un importante aspecto: ambas suceden como una respuesta a la llegada de energía externa (fotones). Ninguno de los dos fenómenos es independiente de la situación energética en el espacio que rodea al átomo. Sin embargo, la emisión espontánea depende solo del estado interno del átomo activado y no de la situación energética de su alrededor.

La mayor parte de átomos tiene varios niveles posibles de energía que abarcan desde el nivel cero hasta estados tan saturados de energía que el átomo no puede contener más sin perder su condición de átomo. Más allá se encuentra el estado donde se pierden los electrones, el esta-

do de ionización. Para ilustrar este aspecto, se supondrá un cuerpo material formado por átomos de una sola clase, es decir de un mismo elemento; y que cada átomo tiene cuatro niveles posibles de energía, cada uno de estos trillones de átomos debe estar situado en uno u otro de estos niveles, puesto que no existen posiciones intermedias en el mundo cuántico. Este cuerpo material se encuentra en equilibrio térmico, es decir su temperatura es constante.

Para el primer ensayo la temperatura será bien fría, y se hará un recuento para saber cuantos átomos se hallan en cada uno de los niveles, recibiendo este número el nombre de "población de cada nivel".

La mayor población se encuentra, en el nivel más bajo posible, el nivel cero, cada nivel por encima contiene una población menor. Las diferencias en magnitud son muy marcadas y en el nivel de más energía se encuentra un número de átomos reducido.

Supongamos que se somete la materia a un bombardeo creciente de fotones capaces de ser absorbidos por estos átomos. La materia alcanza de nuevo el equilibrio térmico pero a una temperatura más elevada. A esta temperatura se realiza otro recuento y se observa que la mayor población es aún la del nivel inferior aumentando a partir de él. Pero las diferencias relativas en población son menores. Con esto se comprueba que un aumento de temperatura reduce las diferencias pero aún para un cuerpo a una temperatura extremadamente alta y constante los niveles superiores de energía no llegan a tener una población mayor que la de los inferiores. Es necesario recordar que, de a-

acuerdo con los postulados de Einstein para la emisión estimulada, la radiación resultante de un incremento de temperatura posee un doble efecto:

- A) Hace que sea más probable la absorción de átomos y fotones a niveles inferiores de energía. y
- B) Hace que sea más probable la emisión estimulada de fotones por átomos a mayores niveles de energía.

Es imposible que un cuerpo material en equilibrio térmico presente mayor población en los niveles superiores que en los inferiores. En otras palabras, no puede producirse esa inversión. Sin embargo para utilizar las emisiones estimuladas es necesario que se produzca ésta.

## 2.1 MASER: HISTORIA, TIPOS DE MASERS, FUNCIONAMIENTO

El año 1951 puede ser considerado como el de el inicio de los estudios que conducirían al maser. Al Dr. Charles H. Townes, catedrático de física de la Universidad de Columbia, E.E.U.U. Le había solicitado el departamento correspondiente de la armada que encontrara un modo de extender a frecuencias más altas la gama de microondas usada hasta entonces en comunicaciones. El estaba consciente que parecía haberse alcanzado un límite hacia las frecuencias más elevadas de microondas. Las válvulas y los resonadores no podían construirse del reducido tamaño que precisarían estas aplicaciones a alta frecuencia.

Townes pensó ensayar activando un gran número de

moléculas de gas, para después estimularlas mediante débiles ondas electromagnéticas de una frecuencia adecuada, de tal modo que emitieran radiación adicional de la misma frecuencia. Si esto resultaba, la amplificación y la oscilación serían posibles. La amplificación, es un sinónimo para designar la emisión de radiación adicional en fase con la emisión estimulante.

Otros científicos como, Joseph Weber de la Universidad de Maryland, E. E. U. U. escribió un estudio titulado "la posibilidad de amplificación de microondas mediante sistemas equilibrados", que fué publicado en junio de 1953. Al mismo tiempo los soviéticos V.A. Fabrikant, A.M. Prokhorov y N.G. Basov, también investigaban ese campo. Este dispositivo con la idea de Townes fué preparado y construido en 1954 con el nombre de MASER (Microondas Amplificadas Por Emisión Estimulada de Radiación).

El primer Maser que funcionó empleaba un chorro de moléculas de amoníaco. La débil radiación estimulada se hallaba alrededor de una única frecuencia, aproximadamente  $2.4 \times 10^{10}$  hertz, que corresponde a una longitud de onda de aproximadamente 1.25 cm. Su funcionamiento era limitado pero poseía los cuatro requisitos básicos que deben presentar los dispositivos maser y laser:

- 1) **ACTIVACION:** Un modo de energetizar o activar un número suficiente de moléculas o átomos, preparándolos para la emisión estimulada. Esta consiste en almacenar energía para poder devolverla más tarde en forma concentrada.

- 2) **SEPARACION O INVERSION:** De poblaciones: Un método de separar o por lo menos anular las moléculas o átomos no activados, ya que estos, en vez de emitir absorberían las radiaciones de la frecuencia separada.
- 3) **Estimulación y amplificación:** Un sistema para estimular las moléculas o átomos activados para que emitan radiaciones coherentes dentro de una cámara de resonancia en la que estas puedan amplificarse hasta una potencia utilizable. Para ello se necesita de un lugar apropiado o de espacio suficiente para la reacción en cadena de la emisión estimulada.
- 4) **Utilización:** Un modo de extraer y utilizar la radiación resultante. El proceso, ilustrado en la figura 2, se inicia de izquierda a derecha de la manera siguiente:
- A) **Activación:** Un pequeño horno o calentador proporciona energía a moléculas de  $\text{NH}_3$ . Las moléculas de este escapan a través de H hacia una cámara de vacío. En este momento solo una parte de las moléculas de  $\text{NH}_3$  están activadas.
- B) **Separación:** Convenientemente se ha dispuesto que las moléculas activadas de amoníaco sean repelidas por un campo eléctrico que solo atraerá a las no activadas. El separador S está compuesto de barras metálicas cargadas y a veces estos dispositivos reciben el nombre de separadores de Masers.

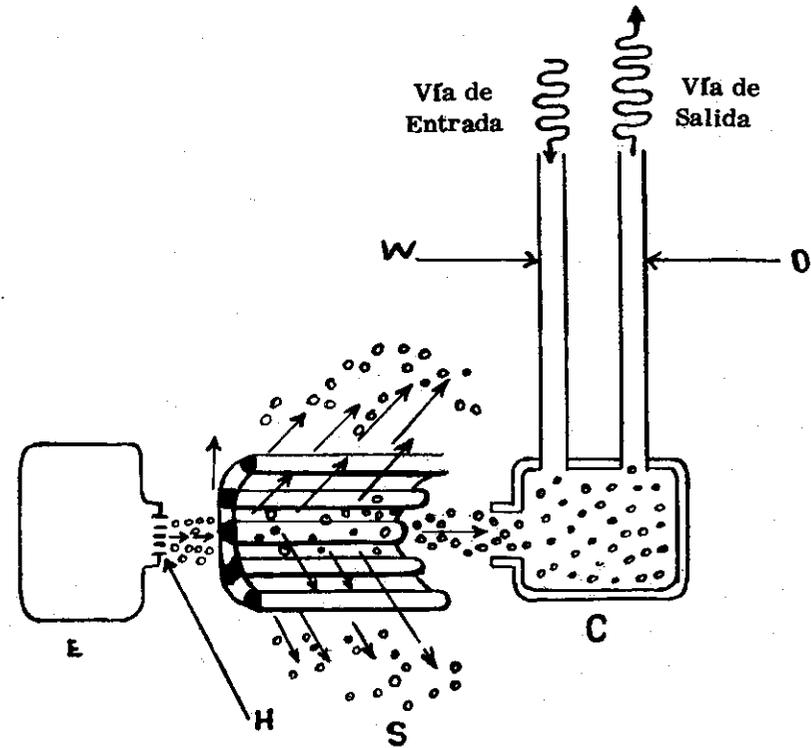
- C) **Estimulación y amplificación:** Las moléculas de amoníaco que atraviesan la cámara de resonancia C, se encuentran casi todas activadas formando una población invertida. En la cavidad de la cámara algunas de ellas emiten espontáneamente fotones a una frecuencia de  $2.4 \times 10^{10}$  hertz. Estos fotones, gracias al fenómeno de emisión estimulada, provocan la aparición de más fotones aún, y estos, a la vez, repiten el mismo ciclo, produciéndose una reacción en cadena. Esta radiación se refleja por el interior de la cámara, que ha sido construida de un tamaño tal que amplifique las radiaciones de aquella frecuencia. De este modo el chorro de gas actúa como un oscilador. Al emplear un amplificador, la señal que debe amplificarse es proyectada al interior de la cavidad en forma de ondas electromagnéticas, guiadas por una válvula W. Esta radiación provoca sobre las moléculas emisiones estimuladas aún más rápidas.
- D) **Utilización:** Las radiaciones producidas son trasladadas a partir de O a fin de ser decifradas.

Las señales que emergen de este tipo de Maser son extremadamente débiles pero de una precisión y puresas sorprendentes. Estos Masers en cuanto a amplificación son extremadamente sencibles. Es decir, una señal que se halle distanciada tan solo 5000 hertz de la frecuencia básica de  $2.4 \times 10^{10}$ , no será amplificada. Esto significa que sus propiedades de amplificación se limitan a una estrecha banda de frecuencias.

Un Maser a chorro de gases correctamente ajustado, proporcionará oscilaciones de una pureza tal que no se producirá una dispersión superior a una en un billón o más, en el transcurso de un largo período. Por lo que los Masers primitivos recibieron el nombre de relojes atómicos-moleculares.

Sobre el recién descubierto campo de los Masers, se buscaba una señal anunciando la búsqueda de estado sólido. Las moléculas de un gas se encuentran muy dispersas y en un volumen dado no existen las suficientes para proporcionar las intensidades de radiación deseables.

Para lograr la inversión de poblaciones en la relativamente rígida estructura de los sólidos, existen dos métodos: El primero se le llamará Maser de inversión y al segundo de nivel múltiple. Ambos emplean materiales activos de estado sólido, a nivel de microondas e intentan primordialmente mejorar las posibilidades de comunicación en esas frecuencias. (Fig. 2)



II. PARTES ESENCIALES DE UN MASER DE GAS.

## El Maser de inversión

Los cristales se forman siempre en estructuras regulares. Sus moléculas se ordenan según los modelos impuestos por las fuerzas internas. El compuesto que forma el cristal determina su forma y estructura. Sin embargo algunos átomos de otra clase pueden ocupar ciertos espacios del cristal.

El compuesto básico del cristal constituye la mena y el que se encuentra en minoría o los átomos de impureza distribuidos a través del cristal forman la ganga. Por ejemplo en uno de los cristales más conocidos: el rubí, el compuesto mayoritario es el óxido aluminico ( $Al_2O_3$ ). Los átomos de Cromo que constituyen las impurezas, se alojan en pequeñas cavidades que, de no existir serían ocupadas por átomos de aluminio. Cuanto mayor sea la concentración de átomos de cromo más rojo será el aspecto del rubí.

Los esfuerzos interiores existentes en el cristal alteran el comportamiento de estas partículas. Cada átomo se comporta como si le faltara un par de sus electrones exteriores es decir más como un ión que como un átomo completo.

Cuando estos iones Cromo se colocan en un campo magnético adecuado, se produce un curioso fenómeno. Los antiguos niveles de energía son fragmentados de tal modo que, alterando la intensidad del campo magnético se puede variar la extensión de los saltos de energía de un nivel a otro. Esto significa que los iones Cromo pueden ser "sintonizados" magnéticamente a ciertas frecuencias de transi

ción. En general, cuanto más potentes sean los campos magnéticos, más elevadas serán las frecuencias (en hertz) empleadas en la transición conocida por absorción y emisión.

Este fenómeno forma parte de una serie conocida con el nombre de "Resonancia paramagnética de los electrones" el método fué aplicado dentro de la historia de los masers para hacer posibles los de tipo inversión.

Se analizará un ejemplo en el cual un cristal de rubí va a servir de material activo. Se trata de un cristal sintético en el que un pequeño porcentaje de átomos de aluminio han sido reemplazados por átomos de Cromo. El Cromo se ha mantenido "diluido" porque, al estar separados los átomos unos de otros, por una cantidad razonable de átomos de aluminio se obtiene mejor rendimiento.

Se empieza ajustando el campo magnético que rodea el cristal hasta un valor que asegure un salto de energía adecuado, es decir una diferencia conveniente entre el estado de energía inferior L y el estado de energía superior H. En este último se encontrará una gran cantidad de átomos de Cromo, pero en el L una cantidad mayor.

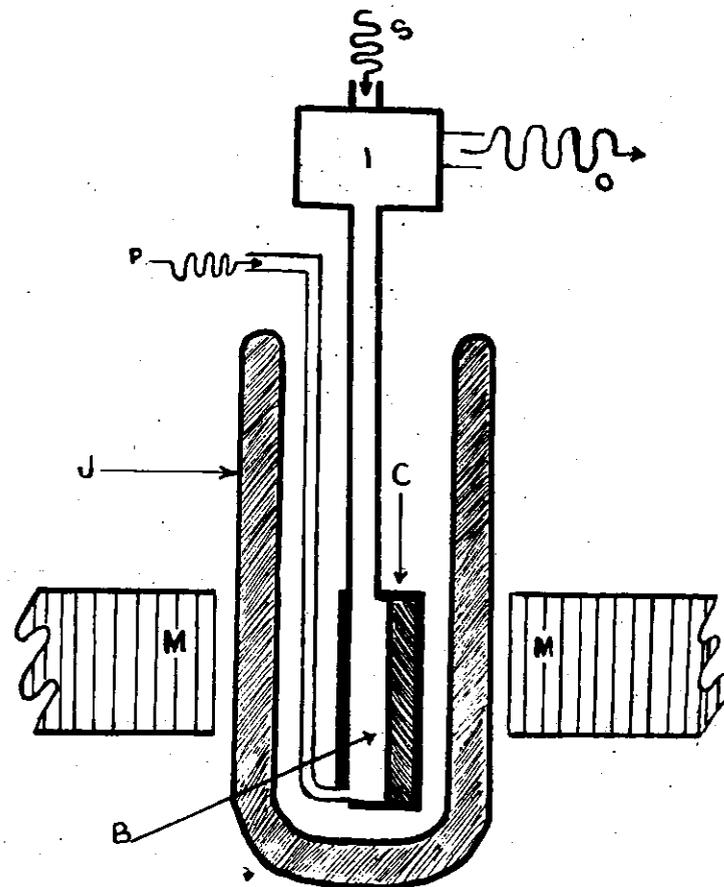
El cristal es ahora sometido a un gran enfriamiento con ayuda de helio o nitrógeno líquidos, para extraer la energía del movimiento atómico desordenado conocido como calor. Cuando el cristal se halla enfriado completamente, el nivel de energía L habrá aumentado sus átomos de Cromo.

Acto seguido se aplica al cristal una radiación electromagnética en forma de microonda de una frecuencia muy especial y variable.

La frecuencia en hertz empieza precisamente debajo de la frecuencia que corresponde a la diferencia de energía entre el nivel L y H.

Esta radiación de frecuencia análoga a las ondas de radio es rápidamente modulada en sentido creciente. Su frecuencia aumenta velozmente, y al coincidir precisamente la frecuencia con el valor correspondiente al salto de energía entre los átomos de Cromo del nivel L y H y sobrepasarlo, ocurre lo siguiente: en este instante parece como si la población superior de átomos del nivel L hubiera quedado instantáneamente transferida al nivel H, y viceversa. Se está en presencia de una inversión de población y esta es la base para la acción del maser. Inmediatamente se efectúa la emisión estimulada. Los átomos de Cromo descienden de un nivel de energía al inferior, emitiendo cuantos de radiación, o fotones, en el proceso. Este fenómeno que sucede a gran velocidad recibe el nombre de "inversión adiabática".

Aparentemente puede parecer como si una energía adicional aparecida de la nada, se hubiera añadido a los átomos de Cromo, haciendo posible que emitieran emisiones estimuladas. Se trata de energía inyectada por la señal emitida en frecuencia de radio, al aumentar gradual y rápidamente de frecuencia. (Ver fig. 3).



III. DIVERSOS COMPONENTES DE LOS MASERS DE NIVEL MULTIPLE.

## MASER DE NIVEL MULTIPLE

Este Maser fué propuesto por primera vez en un estudio titulado "estudio de un nuevo tipo de Maser para estado sólido" en 1956, siendo su autor, Nicolás Bloembergen, de la Universidad de Harvard E. E. U. U.

El primer Maser de nivel múltiple fué puesto a funcionar por: George Feher, H. E. D. Grovil y H. Seidel, de los laboratorios de la Bell Telephone Co.

Para explicar lo que sucede en un maser de nivel múltiple se escoge un cristal que contiene como material activo un grupo de átomos de tres niveles de energía, en orden de valor creciente designados por las letras L, M, H.

Como primer paso se enfría el cristal. Una vez alterado el nivel de energía como en el primer caso, o sea que los niveles inferiores son más poblados que los superiores, se satura el cristal con ondas de radio a la frecuencia exacta capaz de elevar los átomos del nivel L al nivel H, intentando por todos los medios evitar elevar átomos del nivel L a M; con esto se logra que la población H sea igual o casi igual que la del nivel L, y a esto es lo que en técnica de Maser se denomina "bombardeo de saturación". La población del nivel L se ha reducido, pasando a ser menor que la del nivel inmediatamente superior M. De manera que se ha logrado una inversión de población; Una mayor población en el nivel superior que en el inferior. Esta es la situación que se precisa para la producción de emisión estimulada, provocada por la caída de los átomos de un nivel a otro y conocida como acción de maser, la que emitirá la

frecuencia que corresponde a la transición de M a L. Este es un salto de energía inferior y por lo tanto, de menor frecuencia que el de L a H.

La frecuencia de bombeo es decir, la frecuencia responsable del traslado de L a H, es, por consiguiente, mayor que la frecuencia de emisión M a L. Se ha logrado de nuevo, mediante los recursos atómicos la producción de una inversión "Maserable" gracias a la creación de una situación inversa de poblaciones. Esto se debe a que el átomo u otros átomos, poseen más de dos niveles de energía. Estos pueden ser alterados empleando el método del campo magnético. Algunos esquemas emplean cuatro niveles en los mismos átomos, pero el principio básico es el mismo.

## PARTES PRINCIPALES DE UN MASER DE NIVEL MULTIPLE

Tal como se ilustra en la figura número 3 (fig. 3), El corazón del aparato, donde residen los átomos activos, es una pieza de cristal C encerrada en una cámara de resonancia cuyas dimensiones están hechas para que amplifiquen las longitudes de onda que producen ondas maser. La energía de bombeo penetra por P en forma de ondas a la frecuencia de energización que es mayor que la frecuencia amplificada. La señal que debe amplificarse se introduce por S. y la amplificada se extrae para ser leída por O.

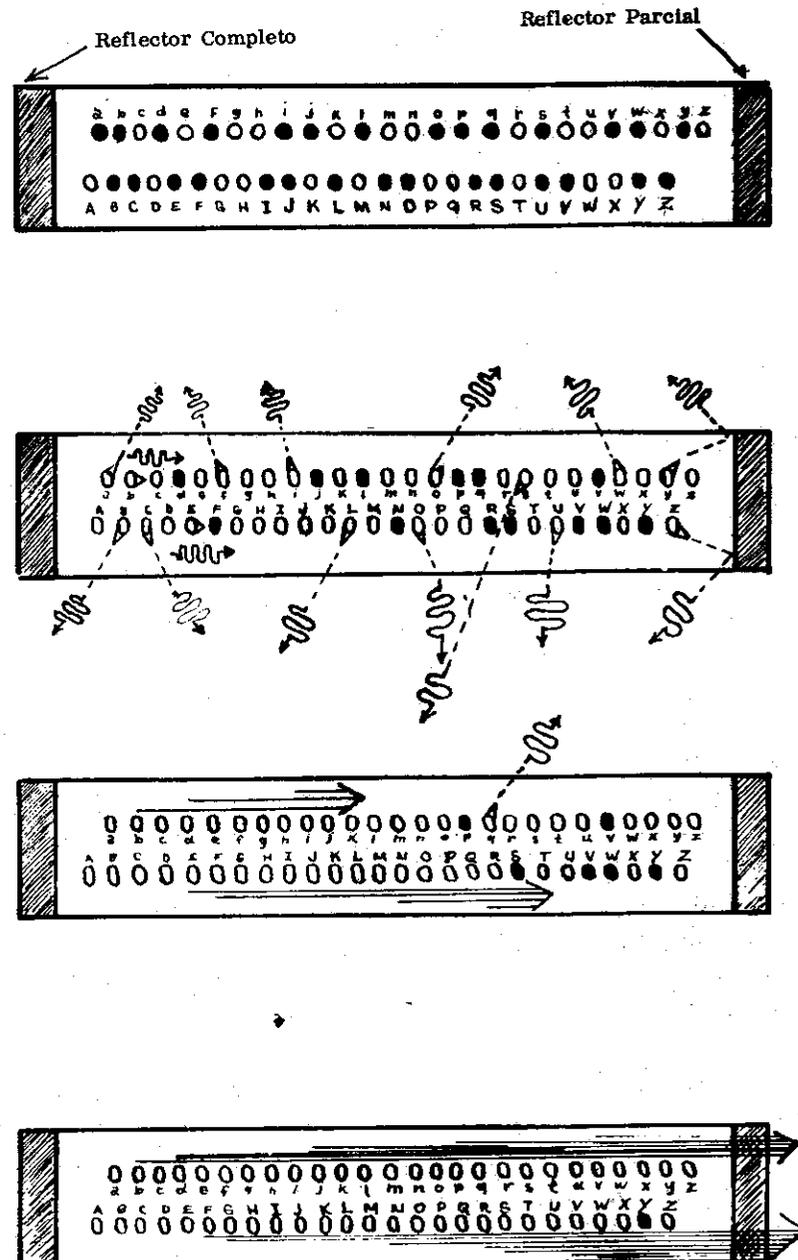
El aislador I regula la circulación de ondas de tal modo que las señales inductoras, de débil potencia, pasan a través de él sin dificultad, avanzando hasta provocar en el

cristal emisiones estimuladas. En cambio las ondas amplificadas son deflectadas hacia O, sin que sufran ninguna intervención. El cristal y la cavidad que lo rodea se mantienen ligeramente por encima del cero absoluto mediante la cámara de refrigeración J.

Los dos polos del electroimán se encuentran en M. - Sobre esta idea general se han basado varias modificaciones. Una de las más efectivas ha sido el llamado maser de onda móvil que ha eliminado la necesidad de una cámara de resonancia.

En este tipo de maser, el cristal se coloca alineado con una válvula gufa, que por medio de la cual, se transmiten al cristal las oscilaciones de la frecuencia de bombeo, lo mismo que las ondas que deben ser amplificadas. Una vez establecida la posibilidad de acción maser para las frecuencias correspondientes a microondas, se experimentó - escalar en frecuencias hasta el nivel de la luz.

El primer documento que apuntó la posibilidad de este progreso fué un estudio publicado a finales de 1958: "Masers Opticos y Para Infrarrojos" por Charles H. Townes, y Arthur L. Schawlow. En él se sugería que los átomos de un metal vaporizado, tal como el Na y el K, podían energizarse a estados de excitación, para luego ser estimulados a emitir radiaciones intensas de luz.



La forma de un laser es muy significativa. Este diagrama representa de un modo muy simplificado, mediante dos filas de pequeños círculos a millones de átomos. Los círculos negros representan átomos activados, en mayoría sobre el resto tras la adición de energía. Los círculos blancos son átomos normales.

El fenómeno laser está a punto de empezar, ya que hay más átomos en estado de emitir fotones que en estado de absorberlos. Véase que el extremo izquierdo está completamente revestido a fin de reflejar los fotones que incidan sobre él. El extremo derecho es parcialmente transparente a fin de que refleje la mayor parte de los fotones que sobre él incidan, dejando pasar al resto.

Empieza la emisión en el interior del laser.

Los fotones que se han emitido en dirección radial atraviesan las paredes transparentes y no guardan más contacto con el material activo del interior. Este es el caso de los fotones emitidos por los átomos B, C, L, O, U y Z de la fila inferior.

Sin embargo, los fotones emitidos en dirección paralela al eje continúan circulando a través del material activo, reflejándose en los extremos y aumentando en número a través de la emisión estimulada. Este es el caso de los fotones emitidos por el átomo b de la fila superior y del E de la inferior. Véanse las figuras siguientes para conocer el resultado.

Aumenta la emisión al sumársele los fotones estimulados. En la fila superior, los fotones emitidos por el átomo b han estimulado emisiones en los átomos d y j (véanse la triple flecha superior).

En la fila inferior, el fotón de E ha estimulado emisiones en F, N y R y está justamente haciéndolo en S.

El átomo q pierde un fotón.

(Los saltos alternativos entre los reflectores de los extremos no se ilustran en esta figura simplificada).

El resultado de esta emisión estimulada se representa en la fig.

Final: el laser emite radiación coherente.

Los haces coherentes en cascada se representan atravesando el reflector parcialmente transparente de la derecha.

El haz superior ha recogido los fotones de p y v; el haz inferior ha ganado los fotones de S, V y W.

El átomo y se representa en estado de activación para ilustrar que la gran mayoría de átomos, aunque no todos, se descagan en las emisiones laser.

En este momento el material del laser queda desactivado debiendo ser energétizado antes de que pueda producirse una nueva emisión laser.

## 2.2 LASER: HISTORIA, TIPOS Y FUNCIONAMIENTO

En 1959 Schawlow emitió la opinión de que era posible construir un maser para luz, o sea un Laser, empleando un material activo sólido. Para esto sugirió el empleo de un cristal de rubí, rojo oscuro ya que entonces se creía que los procesos en los que interviniera la luz precisaban una concentración de átomos de Cromo solo presentes en los rubíes sintéticos oscuros. En Julio de 1960 se cumplió la predicción de Schawlow con la aparición del primer laser, y correspondió a Theodore H. Maiman el mérito de haberlo funcionado. Para ello empleó un pequeño cilindro de rubí sintético rosado de aproximadamente 0.5cm. de diámetro y de unos pocos de longitud, activado mediante potentes emisiones de luz provenientes de un "flash" similar al empleado en las luces estroboscópicas para fotografía. Este importante acontecimiento se llevó a cabo en el laboratorio de investigaciones electrónicas de la Hughes Aircraft Company en Malibú California. La luz emergente del laser original de Maiman era de color rojo. Se demostró que tenía una longitud de onda, de  $6943 \text{ \AA}$ , que corresponde a una frecuencia de  $4.32 \times 10^{14}$  hertz, situada en el interior del espectro visible.

La duración de este haz de luz roja laser fué muy reducida (300 micro segundos), pero de una gran intensidad. En su punto máximo alcanzó una potencia de 10,000 Watios. La luz que atravesó el extremo del reflector plateado era completamente direccional; los haces de este tipo de luz permanecen generalmente dentro de 1/10 de grado, en la dirección marcada por el eje del cristal. El análisis espectral confirma que estos haces laser permanecen concentra-

dos dentro de una estrecha banda de frecuencia; su máximo se alcanza a la frecuencia central o muy cerca de ella. Los haces son altamente coherentes. Los cálculos demostraron que estos cristales irradiaban en esta estrecha amplitud de banda una intensidad equivalente a una temperatura de  $10^{12}$  grados Kelvin.

En un período de meses otros laboratorios produjeron y estudiaron el funcionamiento de los lasers empleando rubíes y otras sustancias cristalinas. En Octubre del mismo año, Robert J. Collins y otros científicos de los laboratorios Bell Telephone demostraron el alto grado de cohesión de la luz laser, al obturar completamente el extremo emisor del cristal del laser, dejando dos minúsculos agujeros. La luz emergía separadamente. Estos haces separados se hallaban en una concordancia de fase tal que, cuando se hicieron interferir sobre si mismos, produjeron la característica figura de claroscuros alternos que, constituye la prueba irrefutable de cohesión.

Estos lasers no precisaban de la ayuda de los campos magnéticos para ajustar los niveles de energía de los átomos de Cromo; recurrían a lo que los científicos llaman niveles naturales de energía.

### PASOS ESENCIALES PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UN LASER COMO EL QUE EMPLEÓ MAIMAN.

Los niveles naturales de energía de los iones Cromo distribuidos a través del cristal, tienen el siguiente aspecto: G es el nivel inferior, E y F son zonas o estados de activación a los que pueden ascender los átomos mediante la

absorción de fotones luminosos de energía variada, algunos de ellos de frecuencia correspondiente al amarillo, otros - corresponden al verde.

El tubo de descarga utilizado para transportar estos iones se halla colocado junto al cristal, rodeándolo a veces en espiral. Las descargas de luz, breves pero potentes, inundan el cristal con una lluvia de fotones, algunos de los cuales activarán a los iones Cromo. El retorno al nivel inferior no se efectúa, de un solo salto. Primero realizan una breve transición, sin emisión de radiaciones, hasta alcanzar uno de los niveles de energía, M. Esta energía es transmitida a la envoltura del cristal en forma de vibraciones o calor, en unidades llamadas Fonones. Por consiguiente, no es irradiada en forma de fotones. Los iones Cromo de los niveles M se encuentran en un estado llamado metastático. La proporción de emisión espontánea debida a estos estados es baja; por lo tanto, el período medio de permanencia en estos estados es más bien largo. Los iones presentan pues una tendencia a quedarse en este estado.

El poder de activación del "Flash" acumula una mayor población en los niveles M que en los G, produciéndose una inversión de población.

Algunos átomos de Cromo caen espontáneamente de M a G, emitiendo fotones rojos al hacerlo. Estos en algunos casos emergen por las facetas del cristal pero en su mayor parte salen en dirección adecuada o sea paralelamente al eje.

Las características esenciales de estos chorros de

luz son su intensidad y su extrema brevedad. Aún así, la potencia alcanzada en estos breves instantes es enorme; es la acción unísona de millones de átomos actuando a la vez bajo emisiones estimuladas.

Los períodos de reposo de los lasers pulsantes duran más que los de emisión, pero incluso así se presentan problemas de calentamiento, para lo cual se hallan protegidos con un sistema de refrigeración líquida.

La luz del laser es casi increíblemente coherente, - por lo que resulta posible concentrarla en tiempo y espacio con más intensidad que cualquier otra luz. Los cristales laser, al ser activados energéticamente irradian poderosos y entrecortados haces. (Ver figura 4).

Un laser de rubí produce emisiones de 50 Joules\*, a la frecuencia aproximada de  $4.3 \times 10^{14}$  hertz. Estas inmensas reuniones de fotones emergen en dos milésimas de segundo. Por lo tanto su formación es mucho más densa y gestionada que si fueran emitidos en un segundo.

La energía anterior bastaría para elevar a un hombre de 50 kg. de peso a más de 150 Mts. en un segundo.

Este potente haz emerge en forma de cilindro rojo

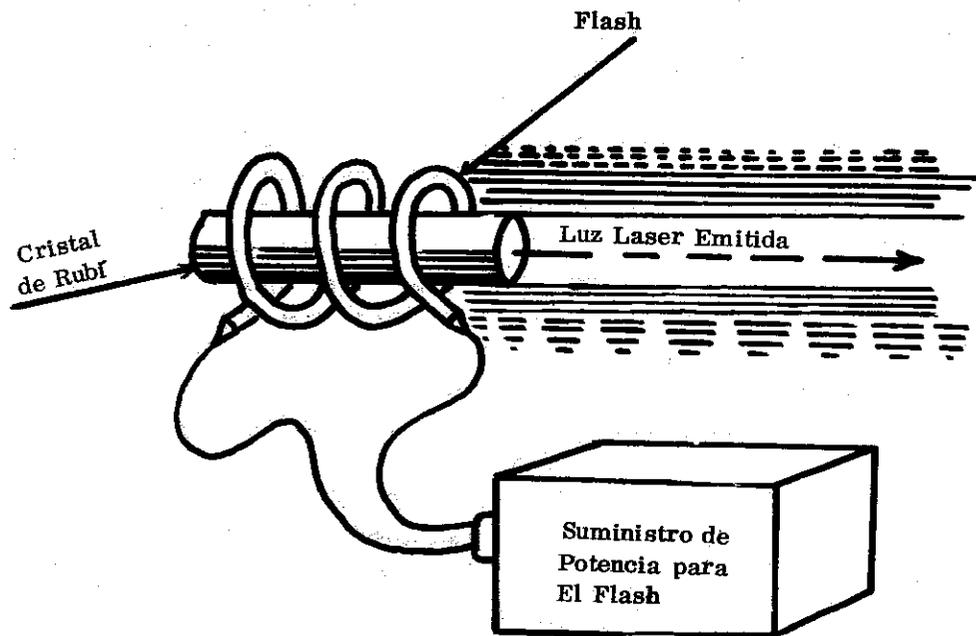
\* El Joule es la medida técnica de energía y trabajo; - corresponde al trabajo realizado durante un segundo por un watio; también coincide con el trabajo necesario para elevar un peso de aproximadamente 980 grs. a la altura de un metro.

de un extremo del cristal laser de no ser perturbado, continúa moviéndose hacia adelante sin casi sufrir dispersión, a la velocidad de la luz. Sin embargo puede ser dirigido y enfocado con ayuda de una lente adecuada o con un espejo curvo. Las intensidades alcanzadas con el laser (100 millones de vatios o más por  $\text{cm}^2$ ) superaban ampliamente todo lo conseguido por el hombre hasta entonces en materia de concentración pura de energía.

En los últimos meses de 1960 y los primeros de 1961 se lograron notables progresos en lo que se refiere a los lasers. Peter P. Sorokin y J.M. Stevenson, De los laboratorios IBM anunciaron la posibilidad de una nueva operación al final de la cual las radiaciones laser dejaban los átomos en un estado ligeramente energétizado.

Utilizaron los iones de Uranio Presentes en los cristales de Fluoruro de Calcio, para obtener radiaciones infrarrojas de alrededor de  $1.2 \times 10^{14}$  hertz, o sea una longitud de onda de 25000 A. El experimento se efectuó a temperatura ambiente. El mismo equipo construyó en el primer mes de 1961 otro laser de estado activado; esta vez uno que emitía luz roja visible a una frecuencia de  $1.2 \times 10^{14}$  hertz, correspondientes a 7080 A. En este caso el material activo era el Samario existente en el Fluoruro de Calcio, y la temperatura de operación extremadamente baja, -40 grados Kelvin. Uno de los aspectos más curiosos de los lasers y masers es este fenómeno que presentan los cristales enfriados a cientos de grados por debajo de las temperaturas normales y que aún así emitían luz roja e infrarroja en las frecuencias conocidas por calor radiante.

En los primeros laser de rubí el salto radiactivo finalizaba en el nivel "O". Por eso ese nivel se sobrecarga con facilidad. El único modo de aliviarlo consistía en hacer funcionar con más potencia el "Flash", lo que implicaba pérdida de energía, sobrecalentamiento del cristal y en general bajo rendimiento. La operación en estado activado reduce grandemente la pérdida de energía y contribuye a perfeccionar el funcionamiento del laser, hay que tener siempre presente que el fenómeno laser solo puede continuar mientras persista la inversión de población, puesto que para se efectúe la emisión son necesarios más átomos en el nivel superior que el inferior. Si cesa de existir esta diferencia también dejará de funcionar el laser. Ver figura 5.



V. PARTES ESENCIALES DE UN LASER DE CRISTAL, ACTIVADO POR LAS DESCARGAS LUMINOSAS DEL FLASH EN ESPIRAL.

El éxito de la operación de los laser de estado activo no ha significado la resolución de todos los problemas - con los que se encuentran los constructores de los dispositivos laser; sin embargo, ha significado un progreso, como lo expresa Barton J. Howell y W.M. Macek, investigadores de la Sperry Gyroscope Co: "Hasta hace poco era - imposible operar de un modo continuo con cualquier laser de estado sólido, a causa del calentamiento provocado por el bajo rendimiento de activación. Los esquemas que utilizan niveles múltiples y reducen así el nivel de activación nos autorizan a grandes esperanzas, estos son a grandes - razgos, los fundamentos de la operación en estado activado".

Estos esquemas permiten utilizar con éxito los lasers de estado sólido y onda continua tanto a temperatura ambiente como a temperaturas en la región del nitrógeno líquido. La onda continua no es sino la expresión utilizada para indicar que la emisión es ininterrumpida.

Al final de 1962 se habían utilizado cientos de dispositivos en los aparatos laser, utilizando una serie de materiales activos, distintas frecuencias de activación y otras combinaciones. La operación a onda continua se logró empleando como materiales activos Cromo y Samario para las frecuencias de la luz visible y Neodimio y Uranio para las frecuencias del infrarrojo, para lograr el funcionamiento - se vió que el Samario necesitaba de un enfriamiento más allá de la temperatura ambiente lo mismo que el Uranio. - Con el Cromo y Neodimio se podía operar a temperatura ambiente.

Una de las innovaciones más prometedoras ha consistido en emplear un vidrio especial, en vez de estructuras cristalinas, como elemento de sostén para el material activo. Uno de estos vidrios especiales contiene átomos de Neodimio. El vidrio presenta ventajas de ser una sustancia amorfa y no cristalina. Algunas sustancias plásticas y ciertos líquidos han demostrado poseer las características para la acción laser.

Se ha propuesto un gran número de mejoras en el proceso de activación. Se cree que no será siempre necesaria la utilización de los "flash". La luz proveniente de fuentes menos espectaculares que estos puede ser enfocada en los cristales o en las varillas de vidrio de los laser empleando lentes o espejos curvados. Sin embargo, la fuente luminosa deberá ser rica en frecuencias, del verde y azul, adecuadas para la activación de los iones que se empleen. Uno de los proyectos más interesantes consiste en enfocar la luz solar sobre los elementos del laser.

Otro de los estudios en proceso de investigación es el amplificador laser. En esencia, consiste en utilizar laser en serie, uno tras otro. El laser "A" emite un haz que estimula la emisión de frecuencia idéntica en el laser "B" ó amplificador. En un reciente experimento, al activar el laser "A", a 250 Joules, mientras el "B" ó amplificador fué activado 8 veces más, o sea 2,000 Joules, se tuvo como resultado que la potencia de salida de "A" se incrementó unas 700 veces.

El primer laser verdaderamente continuo.

El laser continuo es de tipo gaseoso. Su origen fué en 1959 en Diciembre, gracias a un trabajo presentado en una conferencia que se celebró en Nueva York, sobre electrónica cuántica y otras materias relacionadas con ella. Alí Javan de los laboratorios Bell presentó un estudio "Posibilidades de obtener temperaturas negativas en los átomos, mediante bombardeo con electrones".

Proponía una táctica para activar átomos, invertir poblaciones (que era el significado de temperaturas negativas) y provocar el fenómeno laser.

Javan y sus colaboradores, William R. Bennet Jr. y Donald R. Herriot, a principios de 1961 proclamaron su éxito en la operación de este tipo de laser. Los laser de gas funcionan completamente de modo distinto a los lasers pulsantes de estado sólido. Los primeros no son potentes, y por ello su rayo no perfora orificios en el diamante ni vaporiza hojas de metal.

Los haces producidos por este tipo de aparato pueden actuar unos sobre otros, produciendo fenómenos de interferencia. Los experimentos realizados demuestran que los haces del laser pueden provocar un fenómeno que en acústica se conoce con el nombre de ondas estacionarias. Este fenómeno se ha relacionado con la diferencia y por lo tanto con la suma de frecuencias de dos haces que interfieren entre sí. También se ha demostrado la presencia de armónicos en la luz laser. Un armónico es un múltiplo exacto de la frecuencia fundamental. Un haz de luz laser intensamen

te enfocado a la frecuencia de  $4.3 \times 10^{14}$  hertz (rojo), puede ser obligado a producir una ligera cantidad de radiación a  $8.6 \times 10^{14}$  hertz (ultra violeta).

Normalmente, esto se conoce por Doblamiento de Frecuencia y en lo que concierne a la luz es un fenómeno completamente nuevo.

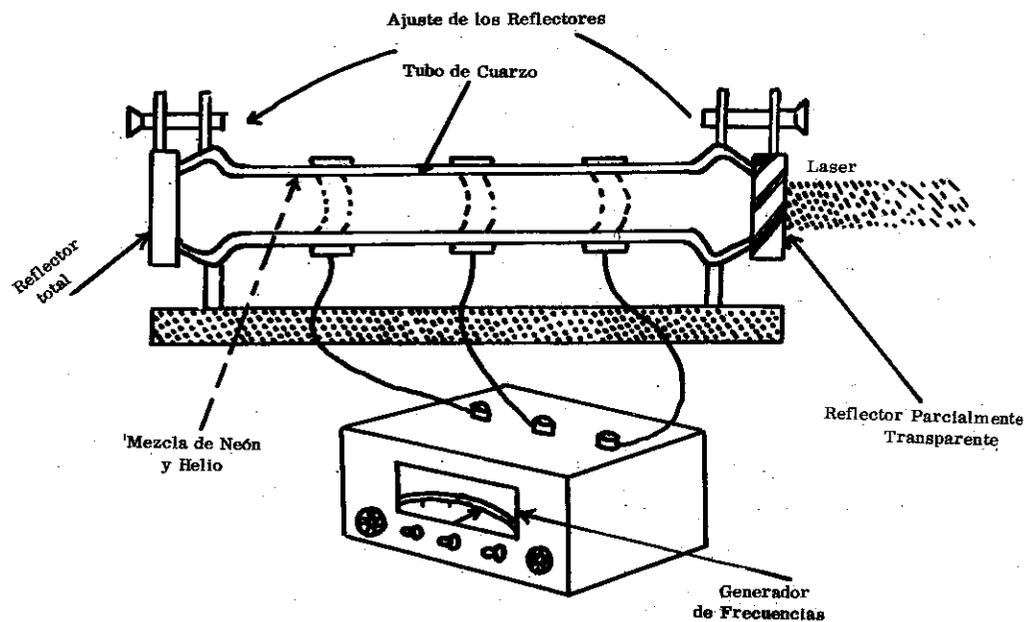
Las ondas de radio introducidas en el tubo de cuarzo activan los átomos de gas en su interior. Muchos de los átomos de helio de energía, desde el nivel G al T. Esto representa una ganancia de energía de casi 20 e.v. Sin embargo no son los átomos de Helio los que emiten la luz laser.

Los descubridores de este método sabían que los átomos de Neón tienen un cierto número de niveles de energía, E aproximadamente el mismo valor que T. También tuvieron en cuenta que los átomos, al chocar, intercambian normalmente entre sí, parte de su energía sin que pierdan radiación. Existe un curioso nombre para estos cambios completos de energía (choque de segunda clase).

El tubo de cuarzo a pesar de ser millones de veces más largo que las longitudes de onda de la luz laser que despiden, actúa en realidad, como una gran cavidad de resonancia. Por esta razón los soportes de los reflectores están generalmente constituidos por un metal llamado Invar que no presenta ninguna dilatación prácticamente al ser calentado. En los laser de estado sólido con cilindros de cristales o de vidrio como fuente de iones activos son los que hacen las veces de cavidades de resonancia. Por lo tanto

estos cilindros deben ser moldeados con infinita precisión y serán protegidos contra los efectos deformantes del calor.

Fig. 6.



V. PARTES ESENCIALES DE UN MASER DE GAS.

Las aplicaciones del laser pueden diferir entre sí con los otros aparatos laser pero el principio interno sigue siendo el mismo.

El 9 de Julio de 1962, apenas 2 años después de que apareciera el primer laser de Maiman, Robert J. Keyes y Theodore M. Quist, en los laboratorios Lincoln del Massachusetts Institute of Technology, habían logrado que un Diodo-Semi-Conductor emitiera radiaciones infrarrojas, era el principio de un nuevo laser de conversión directa o laser de inyección.

Estos investigadores inyectaron o introdujeron una potente corriente eléctrica en un diodo formado por un cristal de arseniato de galio, en el que habían mezclado durante su formación cantidades pequeñas y exactas de dos impurezas. El cristal era evidentemente artificial. El resultado fue la aparición de radiaciones infrarrojas de una frecuencia aproximada de  $3.5 \times 10^{14}$  hertz, correspondientes a una longitud de onda de  $8400 \text{ \AA}$ .

El diodo es uno de esos raros dispositivos pertenecientes a la familia del transistor. En realidad sería más exacto decir que un transistor consiste en una especie de combinación o de fusión de dos diodos. Se explicará brevemente el modo de operación de un diodo.

La operación de un diodo se realiza en el interior de un sólido cristalino. Este contiene ciertas impurezas, que añaden o restan electrones a alguna de las regiones del cristal. Estos excesos y deficiencias pueden producirse en todos los niveles del cristal a determinado plano de energía;

una parte del diodo se halla preparada con impurezas que liberan el exceso de electrones. Esta es la región N, llamada así porque los electrones son cargas negativas. La otra parte del diodo contiene impurezas capaces de trasladar o mantener electrones. Las cavidades en donde debería haber habido electrones actúan como cargas positivas. - Estas cavidades pueden producirse en distintos lugares, respondiendo a las fuerzas eléctricas. La región en donde se hallan en mayoría se conoce por P, o positiva. Entre las regiones N y P existe una importante área de unión que es el centro de la operación del diodo.

Keyes y Quist inyectaron una fuerte corriente de electrones en la región N, cerrando el circuito mediante la extracción de electrones de la región P. El resultado fué que en la zona de unión se produjeron bruscos saltos de energía. Los electrones descendieron en energía desde un nivel llamado de conducción de la energía, a uno inferior (nivel de salto de valencia).

La energía perdida por estos electrones apareció como radiación. Este proceso que constituye la primera conversión directa de la corriente eléctrica en radiación, constituyó un hecho histórico. No había habido ningún calentamiento preliminar de una masa material como en la iluminación eléctrica o en la combustión. Las radiaciones diódicas se produjeron en un material cristalino, enfriado cerca del cero absoluto. Los diodos semiconductores como detectores sensibles del infrarrojo y de las radiaciones luminosas eran bien conocidas. Estas aplicaciones eran posibles gracias al efecto fotoconductor y al efecto fotovoltaico.

Con ayuda de estas las radiaciones luminosas o el calor radiante que cae sobre los diodos semiconductores se convierten directamente en corriente eléctrica. Keyes y Quist lograron exactamente lo contrario o sea el efecto fotoconductor y fotovoltaico inverso.

Los primeros laser de inyección diferían en los detalles, pero eran idénticos en las cuestiones esenciales.

Los lasers de inyección presentan otra ventaja sobre el resto. Parece ser que son los primeros lasers controlables. Si varía la potencia de las pulsaciones que penetran en el laser de inyección, se obtiene una variación correspondiente en la potencia de la radiación o sea que el laser puede ser controlado directamente.

Según lo explicado anteriormente Maserización y Laserización, consiste en la acción conjunta y concentrada de los átomos y moléculas. La radiación es potente únicamente porque se realiza conjuntamente reuniendo la acción de los emisores individuales en una radiación coherente.

### 3. PROPIEDADES Y NATURALEZA DE LA RADIACION LASER

En realidad la luz laser es increíblemente coherente, por lo que resulta posible concentrarla en tiempo y espacio con mayor intensidad que cualquier otra luz o radiación obteniéndose resultados sorprendentes.

Los cristales laser al ser activados energéticamente, irradian poderosos y entrecortados haces. Su energía se halla concentrada y puede emitir en dos milésimas de segundo un haz de 50 Joules. Estas mínimas emisiones de fotones son mucho más densas y congestionadas que si fueran emitidas en un segundo. Cada emisión mientras dura, alcanza una energía de  $50 \times 2000$  ó sea 10000 Joules por segundo, que equivalen a 100 k.v. ó 100000 v. (1)

El laser genera un haz que tiene las siguientes características: Es monocromático, de radiación electromagnética infrarroja y visible o ultravioleta, que mediante una lente sencilla convexa, pueden enfocarse sin sufrir apenas difracción, en una región sumamente pequeña, consiguiéndose densidades de potencia hasta ahora insospechadas. A esta enorme densidad de potencia, en áreas muy reducidas, se debe que los rayos laser sean capaces de atravesar cuerpos sólidos. Dado que ciertas longitudes de onda laser corresponden a la parte del espectro electromagnético que produce efectos biológicos, se tiende a incluir a todas ellas, bajo la denominación de radiación laser, pero algunas propiedades de esta como la monocromaticidad y la coherencia no las tienen otras formas de radiación electromagnética.

ca. Los efectos biológicos de los rayos laser son debidos a longitudes de onda específicos y no a radiaciones de amplia banda. (2)

En la actualidad hay tres tipos fundamentales de lasers: El laser sólido que emite impulsos intermitentes - muy breves, desde el extremo de una varilla de rubí o de Neodimio. El laser gaseoso que emite radiación continua desde el extremo de un tubo de vidrio, lleno de anhídrido Carbónico, Argón o una mezcla de Helio y Neón y el laser semiconductor, también intermitente cuya emisión proviene de un diodo semiconductor de arseniuro de Galio o de Indio. (2, 3).

Longitud de onda específica: depende del material de que está hecho el elemento activado, o que va a ser activado. El de rubí tiene una longitud de onda de  $6943 \text{ \AA}$  (Unidad angström), pero el de cristal recubierto de Neodimio - produce una longitud de onda de  $10600 \text{ \AA}$ . (2, 3, -4)

El rayo laser puede tener una intensidad que va desde milijoules hasta 1500 Joules. La duración del impulso es - extremadamente breve, fluctuando de 5 a 100 nanosegundos (una mil millonésima de segundo) es además de fase definida y direccional. (2)

Entre los efectos biológicos de los rayos laser conocidos a la fecha están los siguientes:

- 1) Cantidades muy grandes de energía laser concentrada pueden causar cambios de fase y vaporización de los tejidos.

2) Los tejidos muy pigmentados absorven grandes cantidades de energía produciendo un calentamiento intenso, mientras que los no pigmentados pueden recibir mucha energía sin mostrar efectos ostensibles.

3) Debido al mecanismo de enfoque ocular para las que el ojo es transparente, son muy perjudiciales, tales como desprendimiento de la retina.

4) Ciertas radiaciones laser infrarrojas pueden producir quemaduras graves. (2, 3, 4, 5)

#### 4. APLICACIONES GENERALES Y MEDICAS

El rayo de luz laser puede ser enfocado y cumplir misiones extraordinarias que en forma sumariada se ofrecerán a continuación:

En la industria se está empleando para la perforación de diamantes, de aleaciones duras de acero e incluso de materiales cerámicos construidos especialmente para resistir la acción del fuego. También en los radares ópticos y telémetros, en soldaduras y para proyectar fotones sobre la luna. Sus posibilidades para las comunicaciones espaciales están en período de investigación. (1)

En un intervalo de cinco microsegundos pueden generarse temperaturas hasta de 10,000° F. El calor se acumula con mayor velocidad que se disipa o transmite por conducción. La materia cambia de estado vaporizándose en un despliegue de gotas al rojo blanco y partículas incandescentes acompañadas de humo. Incluso a distancias relativamente grandes la luz laser posee una tremenda capacidad de energía pudiendo encender un papel a una distancia de un kilómetro un haz de 50 j. (1)

El rayo laser también se está experimentando en el campo de la medicina y la cirugía, con resultados realmente sorprendentes. En 1963-1964 comenzaron a aparecer artículos informando de estas aplicaciones. Los efectos biológicos dignos de tomarse en cuenta según reportes de la AFIP\*, Feick, Fine y Klein indican los siguientes resul-

\* Instituto de Patología de las Fuerzas Armadas E. E. U. U.

tados: (6)

En los laboratorios se han matado rápidamente a pequeños animales usando lasers de rubí con exposiciones concentradas y no concentradas en sus cabezas intactas. - Un informe del AFIP indica que impulsos del orden de 1/2 milisegundos de duración, y de 20 a 40 joules provocaron la muerte a ratones en el espacio de pocos minutos, también se han eliminado ratas hasta de 180 Grms. de peso con exposiciones de 100 a 200 joules. Una exposición de 300 joules en el ojo de un mono anestesiado, no produjo ningún daño neurológico, subsecuente aunque si causó la destrucción del ojo, así como daño visible de la superficie orvital del frontal. (2)

La radiación laser apuntada en las cabezas de pequeños animales, puede producir daños considerables, profusa hemorragia intracraneal de mayor intensidad bajo el área de exposición. (2)

Estas hemorragias ocurren en el espacio subaracnoideo y subdural y en la materia del encéfalo a varios milímetros de profundidad. Cuando se usan exposiciones concentradas se aprecia generalmente un área de coagulación de células necróticas. (2).

Experimentos con impulsos muy breves (nanosegundos) han producido similares pero menos graves lesiones. Clínicamente, los animales que presentan un subsecuente lapso de resultado fatal con frecuencia desarrollan el mal respiratorio de Cheyne Stokes y mueren por falla respiratoria, en un tiempo que oscila de unos minutos a muchas ho

ras después de la exposición al laser. El mecanismo letal se cree que consiste en un aumento de la presión intracraneal debida a hemorragia y más probablemente a edema. - Trabajos llevados a cabo por la AFIP revelan que perforando el cráneo (craneotomía antes de la exposición) se reduce la mortalidad. (2).

Con exposiciones de mayor energía, que provocan la muerte en pocos segundos aparece una formación de burbujas gaseosas intracranealmente, causando el conocido aumento de presión intracraneal. El trabajo de Kochen y Baes mostró que, aumentando la energía laser sobre pequeños y aislados vasos sanguíneos en una preparación del Me soapéndice de la rata, apareció primero un congestionamiento intraluminal, seguido de trombosis y finalmente, a mayor energía, ruptura de la pared del vaso con profusa hemorragia. (3). (2)

Feick, ha demostrado que las hemorragias internas - en los cuerpos transparentes de pequeños peces pueden ser provocadas por exposición a destellos de intensa luz blanca de dos milisegundos de duración. Este efecto no se observa solo usando luz laser o monocromática.

Según Fine y Klein "parece que las lesiones intracraneales observadas eran debidas a la transmisión de una onda de choque de origen mecánico y/o acústico, producido por la interacción de la radiación con los tejidos. Es posible causar graves daños biológicos locales exponiendo otras partes del cuerpo. En la región pectoral es necesaria mayor energía que las dosis usadas en la cabeza de los animales de laboratorio. En el hígado el daño se localiza, li-

mitándose al camino trazado por el haz, y se destruye solo una fracción del órgano por grave coagulación necrótica - con hemorragia en las áreas vasculares, las exposiciones en el abdomen suelen causar hemorragias intestinales. (2, 3, 4).

El laser de rubí o de cristal revestido de Neodimio - es capaz de producir severo daño ocular si se le ve de una distancia muy próxima y aún de lejos. Los telémetros de laser actualmente en uso militar que producen 0.1 joules en 10 nanosegundos son definitivamente peligrosos si no se toman las precauciones adecuadas. Zaret, fué uno de los primeros en describir los peligros que representa el laser para la visión en los conejos y definió los parámetros para que los daños sean mínimos, haciendo la importante observación de que el grado de pigmentación de la retina es un factor importante para determinar la gravedad del efecto. Varios oftalmólogos han descrito el empleo del laser de rubí, experimentalmente, en el tratamiento de varios desórdenes oculares del hombre, incluyendo desprendimiento de la retina y tumores intraoculares. (2)

Ham y otros investigadores han ampliado las técnicas que se han usado en localizadas quemaduras coriorretinales "de entrada" producidas por luz blanca, con el objeto de establecer estos umbrales para los lasers de rubí en los periodos de tiempo micro y nanosegundos. Sin embargo las cantidades de energía calculadas de los valores de entrada, de Ham para provocar daño en estas pequeñas áreas, son extremadamente mínimas, esto es del orden de 0.0002 joules para los impulsos más largos y de 0.000012 joules para los impulsos breves (2, 3, 4).

Jones y Mc Cartney, han investigado el efecto de los impulsos de alta energía de los rayos laser de rubí de los ojos de los simios, con una energía de 5-200 joules liberados en 2 microsegundos, y mientras se mantienen las densidades energéticas dentro del alcance de las logradas en la fotocoagulación clínica. Con este método los resultados son devastadores, producen deshidratación temporal de la córnea, desgarre del cristalino a niveles superiores a 10 joules. Con densidades de 5-10 joules aparición de hemorragia aguda y burbujas en el humor vítreo, emenadas del área central carbonizada, con pérdida de todo el reflejo de luz retinal y oscurecimiento de la arteria y vena central; a más de 10 joules alteración de la visión oftalmoscópica, - por formación de burbujas en la cámara anterior, desgarre del cristalino; intenso e inmediato edema periorbital y hemorragia a 100 joules ó más y subsecuente atrofia total del globo ocular a más de 250 joules. (2, 3, 4).

Los efectos del laser sobre la piel varían considerablemente estando en proporción directa con el grado de pigmentación e intensidad. Se presentan ampollas y pústulas cuando se aplican niveles de energía muy elevados. Usando exposiciones de aproximadamente 200 joules en ratas, se notó una degeneración total de la epidermis, y de todas las estructuras anexas en el centro de la exposición. (2)

Otra aplicación práctica es en la remoción de tatuajes. Con este tratamiento la eliminación del pigmento es satisfactoria y la piel llega a recobrar su coloración normal, pero con el laser de impulsos ultracortos, aún está en estudio la óptima densidad de energía necesaria y los efectos tardíos que se puedan presentar. (5).

También hay estudios realizados en lo que respecta al tratamiento de tumores malignos y aunque los resultados han sido satisfactorios en algunos casos, se considera prematuro decir la palabra definitiva. A la mayoría de investigadores les preocupa el problema que constituye el efecto explosivo producido al enfocar un haz laser en un punto, por debajo de un tumor expuesto, causando la destrucción de los tejidos, debido al calor engendrado por la alta densidad de energía. Esto también puede producir la diseminación del tumor por desprendimiento de células tumorales. Experimentalmente se ha demostrado que cuando las células tumorales no se destruyen en el acto, aumenta su tasa de desarrollo. (3)

Además de los usos expuestos el laser se ha empleado en microcirugía celular y ultramicroanálisis espectroscópico. (5)

Para completar esta sección, es conveniente mencionar en forma condensada, algunas otras investigaciones que han aportado hallazgos de interés: (2)

Mc. Guff fué el primero en informar sobre la erradicación con éxito de tumores malignos en animales con el laser; y al mismo tiempo utilizando el efecto de adición laser. (2)

Klein y Fine, han probado últimamente que partículas expelidas del tumor contienen material ionizado. (2)

Goldman y Wilson trataron a un paciente que presentaba células basales múltiples de carácter maligno. A los

101 días después de haber sido sometido a tratamiento con radiación laser, al corte histológico no mostraba evidencias de células malignas. Un mes después de esta prueba, se repitió y no se observó malignidad en el tejido. Zetterberg experimentó con longitudes de onda superiores a 3500 Å y no observó ningún efecto mutagénico. (2)

Bellin y Oster informaron acerca del éxito obtenido con la inactivación fotodinámica de varios tipos de suspensiones usando luz blanca y diferentes colorantes vitales. (2)

Rounds, encontró con otros investigadores que las células de varias muestras de tejidos normales y de melanoma de ratón que fueron irradiadas se encontraban lesionadas proporcionalmente a su grado de pigmentación. 2,3,5

Rounds y Booker han demostrado que las radiaciones laser y Gamma combinándolas, tienen efectos aditivos.

Cuando las observaciones preliminares del estímulo que produce la radiación laser de rubí sobre la velocidad de proliferación celular, hayan sido probadas en experimentos y confirmadas in vivo, podrá favorecerse la cicatrización de las heridas. Además ciertas técnicas como la cistoscopia y la endoscopia cardíaca necesitan de luz potente. Cuando se resuelvan los problemas de la transmisión de los rayos lumínicos, será posible usar el laser para estos fines y para la destrucción intravesical o intracavitaria de procesos patológicos. (4, 5, 7)

## 5. POSIBLES APLICACIONES DEL RAYO LASER EN ODONTOLOGIA

Durante 1963 una iniciativa sugerida en la Facultad de Odontología de la Universidad de Oregón, E. E. U. U. condujo a la formación de un laboratorio de investigación para la aplicación dental del laser. (8) En 1964 este grupo así como otros en los Angeles, California, Cincinnati Ohio, Boston Mass. E. E. U. U., Suecia y Alemania, comenzaron estudios exploratorios de los efectos del laser sobre los dientes. Estos estudios, además de una revisión de la literatura biomédica sobre el laser, aparentemente proporcionaron una base para discutir si éste está o no terapéuticamente listo para usarlo en la dentadura humana. La aplicación del laser sobre las piezas dentarias no es tan simple como podría suponerse ya que para realizar procedimientos operatorios, entre otras, es necesario determinar cuanta radiación laser se necesitaría para perforar un agujero de tamaño determinado. Esto puede ser difícil, pues los dientes están compuestos de diferentes tejidos y además el grado de caries, depósitos superficiales o pigmentaciones, constituye algunos de los factores que afectan el tamaño de los orificios.

Ningún diente ha estado jamás sujeto a tan enorme potencia por tan corto tiempo. Un moderno laser de cristal de elevada potencia puede emitir 100 joules de energía lumínica en un impulso que dura aproximadamente una milésima de segundo.

Al impacto de un haz de laser sobre un diente, la luz puede ser: A) Absorbida B) Transmitida o C) Reflejada;

(8,9) (22) La primera si es lo suficientemente intensa como para abrir un agujero, puede también provocar la producción de mitades ionizadas en el área de impacto, cuando la fuerza del campo eléctrico supera a las que mantienen unidas a las moléculas. La probable interacción de los efectos del campo eléctrico sobre el área de impacto del laser con el potencial bioeléctrico del tejido vivo, se conoce muy poco. La luz transmitida puede no alterar los tejidos duros, pero al abarcar células vivas, aún a cierta distancia del área de impacto, puede poseer la suficiente intensidad y coherencia como para afectar los procesos metabólicos celulares de las células pulpares, periodoncio o hueso adyacente; Cambios detectables como la alteración resultante en la formación de dentina secundaria, puede estar en estado latente por muchos años.

La luz reflejada puede no estar lo suficientemente concentrada en cualquier punto o dirección como para que pueda afectar los tejidos de la cavidad oral, pero los ojos del operador y del paciente deben estar protegidos.

A pesar del intenso calor desarrollado en el punto del impacto de un haz de laser, los dientes no parecen calentarse significativamente. El esmalte y la dentina son malos conductores del calor, pero pese a ello, ciertas partes del diente pueden recalentarse y transmitir el calor a otras áreas más sencibles, como la pulpa, por lo que es conveniente aconsejar precaución en el uso del laser de elevada energía en la dentadura. Cuando la luz de un laser de alta energía hace contacto con un diente, se produce un ruido agudo, como de resquebrajamiento, parecido al que produce una explosión en miniatura. En efecto una explosión pue

de ser un símil útil para explicar lo que sucede cuando un laser choca contra un diente.

Evidencia disponible, indica que además del ruido hay producción de vapores y materia finamente esparcida, parcialmente ionizada. También hay una onda de choque a sociada con el material despedido y absorbido por el diente, así como una sintonización en la frecuencia de choque específica de las células o membranas celulares, o más es pecíficamente en las uniones moleculares del material ge nético o sistemas enzimáticos.

GOLDMAN (9) Estudió la posibilidad de poder usar el rayo laser en los tejidos dentales y observó que el efecto de su impacto sobre zonas cariadas iba desde producción de agujeros de 2mm de profundidad hasta completa desaparición de las caries acompañada de algún blanqueamiento del borde circundante del esmalte. Señaló que era necesario apli car grandes densidades energéticas para poder produ cir cambios in vitro en el esmalte de los dientes normales, y ocurría una mayor destrucción de la sustancia dental des pués de dirigir radiación laser sobre esmalte decolorado.

En 1964 STERN Y SOGNAES (9) Compararon el efec to de la descarga de potencial alto y bajo y descubrieron que cuando el haz estaba concentrado, los resultados de la descarga de potencial mayor. Observaron bajo la luz pola rizada una fusión cristalina del esmalte con birrefringencia y puesto que el esmalte hace que el laser sufra bastante grado de reflexión, los bordes del esmalte colindante con restauraciones de oro o amalgama sometidos a radiación laser, experimentaron menos destrucción que el metal.

TAYLOR, SHKEAR Y ROEBER (9), observaron el efecto producido por una descarga de dos niveles energéticos de radiación laser de 35 y 55 joules, sobre los incisivos inferiores de "Hamsters" Sirios. Ocurrió destrucción del esmalte de un grado mayor o menor, dependiendo de la intensidad de la descarga. Se observó además destrucción de la estructura, en los dientes adyacentes a los incisivos, y en menor grado en los incisivos superiores. Las pulpas dentarias exhibieron graves alteraciones. En la re gión coronal hubo necrosis acompañada de hemorragia con reacción inflamatoria. Los odontoblastos sufrieron necro sis de coagulación aún en lugares tan posteriores como la región molar, y se encontró hiperhemia pulpar. A una radiación de 55 joules, las pulpas de las molares inferiores mostraron asimismo hiperhemia y degeneración de los od ontoblastos. Se notó también la presencia de reacción inflamatoria en los tejidos gingivales y periodontales de la re gión incisal inferior, así como ulceración en la lengua de l lado tratado, contiguo a la pieza irradiada ocurrió com pleta cicatrización después de 7 días.

PECK Y PECK (9) informó que en las regiones donde solo se aplicaron 18 joules de descarga por pulsación, fué notada la presencia de crateres de más de 1mm de diámetro, conjuntamente un moteado oscuro de la dentina subya cente, donde ocurrió la penetración del esmalte. También hallaron cambios de naturaleza cristalográfica.

KINERSLEY (9) y sus colaboradores señalaron que el impulso del laser puede ser tan breve que está muy por debajo del umbral del dolor, pero éste puede resultar a causa del calor residual no disipado.

En un estudio realizado por STERN Y SOGNAES - (10) piezas dentales extraídas fueron conservadas en solución salina y refrigeradas hasta que la aplicación del laser tuviera lugar. Durante la exposición, fueron mantenidas húmedas. Generalmente la historia clínica del diente era desconocida. El laser empleado en éste experimento fué uno de rubí que emitía impulsos con una longitud de onda de 6943 A. Además se usaron técnicas con el laser tipo Q-interruptor con una descarga potencial máxima de 10 megavoltios. Los dientes fueron bombardeados en una armazón óptica que enfocaba y desenfocaba los impactos. Después del impacto, los dientes fueron examinados detenidamente y fotografiados. Luego se procedió a cortar secciones de alrededor de 75 micras de espesor, estas fueron examinadas al microscópico con luz corriente, luz polarizada y microrradiografías.

Después del impacto con rayo parcialmente concentrado la superficie expuesta mostró incineración de color blanco, desecación y una pequeña depresión o cráter.

Uno de los efectos del laser sobre los tejidos es la elevación de temperatura. La evaluación correcta de los resultados es bastante difícil. Si el termógrafo se encuentra en el área directa del blanco, el brusco ascenso de temperatura y el descenso, puede deberse a un impacto sobre el mismo aparato. En un caso se registró una elevación de temperatura de 10 grados centígrados; por medio de un termógrafo colocado a un lado de una molar; el caso en mención se trataba de un paciente voluntario y se seleccionaron unas piezas que iban a ser extraídas una hora después y se expusieron al impacto del laser. También se ga

nó acceso al interior de la cavidad pulpar de un incisivo y allí se introdujo un termógrafo. Los impactos sobre la cara labial de este diente, colocado en una armazón óptica, fueron de 4000 joules por  $\text{Cm}^2$ .

Estudios microrradiográficos mostraron que dichos impactos formaron un pequeño cráter. El mayor aumento de temperatura observado en esta pieza fué de 29 grados centígrados. El paciente no sintió dolor ni sensación de calor, sin embargo se hizo evidente un olor a quemado cuando se hicieron ambos impactos. Esto puede haberse debido a la presencia de depósitos orgánicos en los dientes, tales como cutícula de esmalte y saliva seca. No se observó daño evidente en los labios, lengua, encía o tejidos adyacentes a la pieza. Lo único que el paciente percibió fué una luz roja brillante atenuada a través de sus ojos cerrados y protegidos, siendo importante conocer el efecto de esta transiluminación sobre la retina, y regiones que rodean al blanco, como tejidos blandos, párpados cerrados, órbita y otras. (10, 14)

Otro estudio (11) investigó el efecto del laser sobre el esmalte, dentina y restauraciones de oro. Aunque el rayo laser es capaz de vaporizar cualquier material conocido puede ser controlado de tal modo que permita hacer agujeros, en tejidos dentarios de pocas micras de diámetro y soldar alambres delgados. Cuando se enfocó un rayo laser a una pequeña región del esmalte de una pieza dentaria extraída, se produjo la formación de un cráter, éste tenía una base puntiaguda, y un borde redondeado. El esmalte situado en la periferie del cráter tenía una apariencia de cristal fundido. Cuando la dentina intacta fué sometida al im-

pacto de un rayo laser, se formó un cráter más definido y presentaba evidencias de carbonización. Cuando se expuso a los rayos laser el borde de una restauración de oro, el cráter producido fué más agudo y profundo y con rociadas de oro en el borde del mismo.

Ha llamado la atención la fusión cristalizada del esmalte provocada por el rayo laser y este fenómeno está siendo estudiado con más detalle para determinar las alteraciones cristalográficas.

El esmalte dental humano expuesto al efecto de cristalización del haz superficial del laser, muestra una resistencia relativamente mayor a las soluciones desmineralizantes, in vitro, comparadas con las superficies de control adyacente del esmalte no tratadas, según se ha determinado por microrradiografías (12, 13). Esto se ha demostrado en dientes humanos extraídos, con el esmalte clínicamente intacto, expuestos a impactos de rayos laser enfocados superficialmente en regiones localizadas. Se llevaron a cabo los experimentos con una lente de distancia focal corta, e impulsos de una duración de 500 milisegundos y generalmente de 12 joules de energía aproximadamente. La superficie del esmalte de principal interés fueron aquellas que habían sido sometidas a la exposición de un rayo de foco relativamente menos agudo y por eso causaron solo un efecto de cristalización de alguna área superficial de tamaño mayor que otras. También se hicieron pruebas sobre el área que habían sido sometidas a rayos de enfoque más penetrante, especialmente en zonas marginales, donde había efectos menos pronunciados sobre la superficie del esmalte, a pesar de encontrarse adyacentes a cráteres superficiales.

Las piezas así tratadas, fueron preparadas acto seguido, para experimentos de desmineralización in vitro, para examinar la relativa resistencia del esmalte tratado con laser superficialmente, comparado con áreas no tratadas de control, en los mismos ejemplares de dientes.

Esto se logró aislando regiones específicas de la superficie del esmalte expuesto y no expuesto al rayo por medio de "ventanas" situadas en una cubierta protectora de cera en áreas de la corona del diente respectivo, dichos ejemplares fueron colocados de 4 a 6 días, a 37°C, en una solución desmineralizante que contenía ácido láctico 0.1 M, conteniendo además 6% de Hidroxi Etil Celulosa y con un PH de 4.5, logrado al agregar Hidróxido de Sodio.

Este medio que ya ha sido descrito en detalle (13) se ha descubierto que produce in vitro, ciertos patrones de desmineralización sub-superficial característica del esmalte, semejantes en su apariencia a los presentes en la caries incipiente del esmalte humano in vivo.

Después de la inmersión en dicha solución in vitro, los dientes fueron examinados diariamente bajo un microscopio binocular en busca de evidencia de cambios en la opacidad de la superficie o enyesamiento incipiente indicativo de desmineralización parcial.

Cuando se hizo presente en las áreas de control del esmalte no tratado con laser, el experimento fué suspendido y los dientes seccionados.

Los principales medios de control del examen estruc

tural han sido efectuados usando microrradiografía de alta resolución, donde fueron colocados los cortes en placas Kodak 649-0 para efectos de transmisión de rayos X atenuados a una gama Kv de 25 a 40 a 16 miliamperios por 10 a 20 minutos. El esmalte tratado con laser mostró poca o ninguna desmineralización comparado con el no expuesto que exhibió una baja microdensidad. (14).

SOGNNAES: informó de un cambio en la solubilidad del esmalte en ácido después de ser irradiado. Un laser del tipo óptica maser 8-869 fué el usado y operado a una descarga nominal de 50 joules, se aplicó a impulsos de una longitud de 2.5 milisegundos. (15)

Tomando como base el examen microscópico en un incisivo lateral y los cambios de transmisión de la radiación ultravioleta, así como la gruesa apariencia, se cree que una alteración, definida así como la fusión de la estructura dental pueden ser llevadas a cabo por la energía concentrada proveniente del laser; el hecho de que el material dental pueda ser fusionado o transformado en una masa que posea alguna solidez física, parece indicar la posibilidad de poder obturar directamente los dientes con materiales inorgánicos fundidos; además ahora parece estar dentro de lo tecnológicamente posible el fundir defectos precarios del esmalte con el fin de ejercer una medida profiláctica. Se estima que el material condensado y la fusión superficial o formación de capa externa ocurre aplicando densidades de potencia energética significativamente menor que las reportadas hasta el presente. (15)

La remoción de estructuras por medio del impacto -

del rayo laser ha sido lograda por varios investigadores y sus colaboradores. GOLDMAN en 1965; KINERSLY en 1965; FREDEN 1966; STERN y SOGNAES 1964-65-66; GORDON, PECK Y PECK, VARNER 1967, usando impulsos concentrados simples y múltiples, dependiendo de la descarga energética, los efectos así producidos han fluctuado desde diminutas alteraciones de la estructura superficial del esmalte hasta considerables cráteres que atraviesan el esmalte y alcanzan hasta la dentina. 16-17

Otros experimentos se han llevado a cabo con aparatos laser de gas; para estos se han usado aparatos laser de CO<sub>2</sub> gaseoso de la Philips de Holanda, que emite radiación infrarroja a una longitud de onda de 10.6 milimicras, descarga continua de 50 vatios usado en conexión con un sistema de lentes de germanio enfocados. Por estos medios la densidad energética de la radiación alcanza 0.3 Mw por cm<sup>2</sup>.

En contraste a todos los estudios previos, los presentes experimentos fueron llevados a cabo tomando como principal razón el efecto del laser CO<sub>2</sub> sobre los tejidos duros, y por estos medios podrían ser estudiadas reacciones tisulares bien definidas que vendrían a aclarar los efectos inducidos del laser.

Un examen microscópico de los cráteres producidos en estos experimentos revelaron que la densidad energética del laser concentrado, era lo suficientemente elevada como para fundir y vaporizar la hidroxiapatita del esmalte, en los bordes de los cráteres parte de la estructura fusionada se volvió condensar, evidencia de fusión fué la forma-

ción de elevados bordes de los cráteres. 16;17

Los constituyentes orgánicos del esmalte fueron sometidos a combustión a diferentes grados de intensidad; la más completa combustión se descubrió en la superficie de los cráteres, lo que fué indicado por su color blanquecino. La carbonización incompleta, fué puesta de manifiesto por el residuo quemado que quedó en la periferie de las lesiones. Se consideró que la fractura del esmalte había sido producida por la rápida expansión del agua y/o fluido del esmalte debido a la alta densidad energética del rayo laser. 16; 17

GOLDMAN (16) y sus colaboradores informaron acerca del efecto de la radiación laser sobre la caries dental in vitro e in vivo. KINERSLEY (16) y sus colaboradores en el estudio de los tejidos duros del diente e igualmente en la apatita sintética. Más recientemente TAYLOR (16) y sus colaboradores informaron del efecto de la radiación laser sobre la pulpa, mucosa oral y dientes de animales, todos - estos investigadores usaron el laser de rubí de longitud de onda 6934 A. El resultado de estas experiencias presenta considerables y microscópicos descubrimientos acerca de la interacción de la radiación laser con los tejidos duros de la cavidad oral en el hombre. Se estudió el patrón de difracción de los rayos X, lo mismo que la microcompactación y solubilidad del esmalte irradiado; . La varilla de rubí fué enfriada con nitrógeno líquido durante el experimento. Los dientes fueron obturados con plástico y seccionados a un espesor de 100 micrones. En una tentativa de controlar la temperatura en su límite superior dentro de la cámara pulpar se colocó dentro de esta un termopar y conec-

ta directamente a la entrada de un osciloscopio; la porción expuesta del termopar fué cubierta para protegerla de la radiación directa.

Bajo las condiciones experimentales de este estudio se obtuvieron los siguientes resultados:

- 1) No se descubrió ningún cambio en la radiodensidad.
- 2) No se presentaron cambios en la microcompactación de el esmalte irradiado con laser.
- 3) No hubo cambio en la configuración hidroxiapatita del esmalte.
- 4) Ocurrió alteración en la estructura de los prismas de esmalte en el área de impacto, hubo también cambios en la birrefringencia.
- 5) Al cubrir la superficie del esmalte con colorantes, modifica la interacción de la radiación laser.

La exposición al rayo laser confiere un grado de impermeabilidad a la superficie del esmalte, que reduce la desmineralización superficial. Sin embargo, no se descubrieron diferencias significativas en solubilidad entre superficies expuestas y no expuestas. La resistencia observada a la desmineralización, parece originarse más bien en alteraciones de la permeabilidad. (12, 13)

Actualmente se sabe bien que en el inicio de la lesión cariosa del esmalte está caracterizada por desmineraliza-

ción subsuperficial significativa, que puede ser observada rápidamente por microrradiografías de secciones hechas a través de las lesiones iniciales que aparecen en el esmalte. Así el acceso de agentes al esmalte subsuperficial debe venir a través de vías preformadas existentes en la superficie del esmalte. La fuga de los minerales dentales disueltos en las zonas subsuperficiales, debe ocurrir de la misma manera. Se han hecho esfuerzos en varios aspectos de la odontología preventiva con relación a la caries, por medios químicos, para reducir la solubilidad del esmalte de la superficie, y para crear condiciones que propiciarían la penetración de agentes preventivos contra la caries dental al esmalte subsuperficial.

En estudios preliminares, se han efectuado observaciones del efecto del rayo laser sobre el esmalte dental. Parece que ciertas influencias sobre la superficie del esmalte del rayo laser pueden alterar la relativa resistencia del mismo, reflejándose en cambios en su permeabilidad, solubilidad o en ambas.

En otras palabras el efecto del rayo laser sobre la superficie del esmalte podría hacerlo menos permeable a la acción de agentes químicos por una fusión física de microestructura de la superficie o bien volver la superficie del esmalte más amorfa o cristalizada, de modo que sea menos soluble.

En el estudio realizado para investigar los efectos del laser sobre la permeabilidad y solubilidad del esmalte in vitro (12, 13) se emplearon dientes humanos extraídos, con el esmalte clínicamente intacto, fueron expuestos en re-

giones definidas a los rayos laser. Se aplicó un haz de 12 joules de energía que tenía una lente para enfocar colocada a una distancia de 1.5 pulgadas, la duración del impulso fué de 500 microsegundos.

Estudios posteriores se llevaron a cabo con el fin de determinar si las alteraciones en la permeabilidad eran producidas por la exposición del rayo laser, 3 discos de aluminio fueron adheridos a cada diente en el experimento. Uno de los discos cubrió el sitio donde se aplicó el laser, y los otros dos revistieron el esmalte no tratado, posteriormente se procedió a cubrir el resto de la corona y raíz con cera. Uno a uno fueron removidos los discos y la solubilidad del esmalte por este medio expuesta fué determinada aplicando una modificación a un método descrito por BRUDEVOLD. (13) El esmalte fué expuesto por una hora en 9ml de una solución buffer de acetato con pH de 4.0; dicha solución fué mantenida a 37°C, y fué mezclada constantemente. La solución buffer fué analizada para descubrir fósforo usando una modificación del método de FISKE y SUBBAROW. Fué determinada la presencia de calcio aplicando un método descrito por KENNY y COHON. Las áreas superficiales del esmalte fueron fotografiadas, antes y después de la disolución con ácidos, con una cámara Zeiss Ikon a través de un microscopio Zeiss hasta 30 aumentos.

El examen microrradiográfico de las áreas superficiales del esmalte mostró un patrón de desmineralización que es característico de este sistema de combinaciones poliméricas ácidas. Consiste en la desmineralización subsuperficial quedando una relativa e intacta delgada capa en la

superficie. En contraste a esto el esmalte que había sido expuesto al rayo laser, parecía tener una desmineralización subsuperficial menos intensa; una microrradiografía de una sección de calcificada de 240 micras de espesor muestra la manera considerable en que el esmalte ha sufrido desmineralización a un aumento mayor está desmineralización se muestra más claramente cuando el esmalte irradiado con su cráter es comparado con el no irradiado. Parece posible pensar que el esmalte de dicho cráter está menos expuesto a los agentes desmineralizantes simplemente por razones físicas.

En vista de estas observaciones parecería que el efecto del rayo laser sobre el esmalte, ya sea que se manifieste por cristalización de la superficie o por formación de cráteres, muestra un cambio en menor desmineralización subsuperficial cuando se compara con el esmalte intacto no irradiado con laser, si este efecto es puramente físico en naturaleza, tendiente a transformar el esmalte por fusión o si se realizan cambios químicos causados directamente por el efecto del rayo laser es algo que debe seguirse estudiando. Lo mismo que la cantidad mínima de energía para crear resistencia a la desmineralización sin producir alteraciones visibles en el esmalte; se debe experimentar en animales susceptibles a la caries para determinar la alteración in vivo del esmalte expuesto al laser.

Debido a que en este estudio no se observaron diferencias significativas en la solubilidad, la resistencia a la desmineralización, es posible que esta se deba a una disminución en la permeabilidad.

Conclusión: La exposición al rayo laser proporciona a la superficie del esmalte un grado de impermeabilidad que reduce la desmineralización subsuperficial; sin embargo las concentraciones de Ca y P liberados por soluciones buffer no muestran diferencias significativas en solubilidad.

## 6. RESUMEN Y CONCLUSIONES:

Este trabajo consistió en una revisión de la literatura pertinente, con el fin de conocer la historia, naturaleza, propiedades, potencial, aplicaciones presentes y futuras - del rayo laser, haciendo especial referencia a sus usos en la industria, medicina, odontología y otras ramas del saber humano.

El primer objetivo fué arribar al conocimiento por medio del método inductivo, es decir de lo simple a lo complejo, por lo que se inició con un estudio de lo que se sabe de la radiación y de la luz; haciendo una breve descripción de las teorías que conducen a una mejor comprensión, que por razones obvias se hace más abstracta, ya que no se pueden transmitir experiencias propias en un campo con un futuro muy amplio, y desconocido hoy, en su mayor parte, tanto en sus alcances como en su verdadero desarrollo al irse perfeccionando los aparatos.

En las consideraciones generales se exponen tanto la radiación en sí como, sus propiedades, y el manejo de esta poderosa fuerza hasta llegar finalmente al estudio de los masers en primer término y por último del laser, describiendo, que es, como funciona, y sus propiedades físicas, químicas, y efectos biológicos.

Todo lo anteriormente expuesto fué posible gracias a los estudios que realizaron eminentes científicos, y que desde 1917 cuando EINSTEIN dedujo que los átomos pueden ser estimulados por ondas electromagnéticas para emitir

fotones, y más recientemente en 1951 el Dr. Charles H. Townes y otros, que contribuyeron para que fuera una realidad el MASER. (4)

El laser hizo en verdad, su aparición en 1960 cuando MAIMAN construyó el primer modelo funcional aplicando los principios delineados dos años antes por SCHAWLOW y TOWNES. Este prototipo, una varilla de rubí con un tubo "flash" lleno de Xenón usado como fuente de luz y una banda de capacitadores como suplemento de energía, fué seguido por otros generadores de energía laser, sólidos, gaseosos, y semiconductores algunos de los cuales emiten luz a impulsos y otros continua, pero todos producen una luz unidireccional, coherente y de la misma longitud de onda.

El cristal de rubí y más recientemente la varilla de vidrio revestida de Neodimio han probado ser lasers idóneos para fines biomédicos; capaces de emitir un rayo de una gran potencia a pequeñas áreas por un corto período de tiempo. Son particularmente adecuados para situaciones en las que variaciones en milisegundos y fracciones de milisegundos pueden determinar la diferencia entre el éxito y el fracaso de un procedimiento de carácter investigativo o terapéutico. Un ejemplo de esto último es la fotocoagulación aplicada para casos de desprendimiento de retina en donde la acción muy breve del laser elimina la necesidad de inmovilizar el ojo, ofreciendo así una ventaja sobre la radiación ionizada de acción más lenta. Un procedimiento de investigación que guarda promesas para el futuro es la micropunción de células y órganos individuales para arrojar luz sobre sus funciones e interacciones íntimas observando los efectos de la eliminación selectiva. El laser también

proyecta luz sobre algunas de las áreas menos accesibles del cuerpo humano. (4, 5)

En combinaciones óptico-fibra-laser su radiación transportada por fibras y aún por agujas hipodérmicas y condensada por medio de lentes puede usarse para una más efectiva endoscopia que la que sería posible obtener por medio de la luz ordinaria. El recientemente perfeccionado oftalmoscopio laser ha demostrado ser un instrumento muy útil según se ha explicado. (4, 5)

Una de las más importantes facetas de los lasers respecto a su uso médico es su efecto tumoricida. Aunque se sabe poco de esto, ya que la acción del laser sobre las membranas no se ha aclarado aún, este efecto ha sido repetidamente demostrado en animales de laboratorio y en seres humanos (2, 3), y en estos se ha observado que la disolución del tumor depende de su capacidad de absorción y esta se hace más tangible en los melanos que responden de una manera especial.

Además de los experimentos realizados, el rayo laser se ha usado también en experimentación tratando de observar que efecto posee esta potente radiación sobre los tejidos duros del diente y por cierto que los resultados han sido halagadores, como lo es la impermeabilidad en cierto grado que produce en las áreas expuestas a la acción del laser, la posible fusión de materiales de obturación directamente en el diente, así como que pudiere con el tiempo usarse para la preparación cavitaria no convencional.

Actualmente se están usando unidades laser para ha-

cer análisis espectrográficos de los dientes y según reporte de la casa Ney, unidades laser se están experimentando en sus laboratorios para microsoldadura, y en la soldadura de metales preciosos lográndose, entre otras, las ventajas siguientes: (18),- 20

- 1) Eliminación de la distorsión durante el procedimiento,
- 2) Facilidad de soldar aún después de haber puesto frentes plásticos y
- 3) Se omite el uso de cualquier otra aleación como medio de soldar.

Con el manejo de unidades laser no se está exento de peligros ya que las altas longitudes de onda del modelo de rubí pueden provocar desprendimiento grave de la retina, y daño al humor vitreo, mientras que las más débiles del tipo de los laser de cristal de neodimio pueden producir posibles cataratas y opacidades corneales por lo que obligan a tomar continuas precauciones en su uso. El laser actualmente se está usando como instrumento de investigación con miras prometedoras, además es un aparato de precisión en la microcirugía. También se está usando experimentalmente para ver sus posibilidades en el ultramicroanálisis espectroscópico. Cuando se resuelvan los problemas de la transmisión de los rayos lumínicos será posible usar el laser para ciertas técnicas como la cistoscopia, endoscopia cardíaca intravenosa, y para la destrucción intravesical de procesos patológicos y para la cicatrización de heridas. (5)

El potencial del laser se aplica además (19) en el campo del tratamiento de datos, las comunicaciones, la iluminación, la elaboración de materiales, desplégue de imágenes e información, medición y alineamiento, la seguridad y la investigación científica. Se está usando en holografía ya que la comba y la frecuencia de la luz laser son uniformes en tiempo, espacio, densidad y textura. Ultimamente se hacen estudios sobre la forma en que la luz laser interactúa directamente con las estructuras atómicas y moleculares de la materia con el nombre de Optica no lineal. Estos estudios se basan en que el comportamiento de la luz de suficiente intensidad puede afectarse directamente por las características eléctricas, magnéticas, acústicas, termales, vibratorias y giratorias de estas estructuras o sus componentes atómicos.

En Odontología se ha usado el laser para realizar análisis espectroscópicos de los componentes orgánicos e inorgánicos de los dientes.

Se ha comprobado experimentalmente que en los dientes sometidos a los impactos de la radiación laser, se produce una fusión de la superficie, y una disminución de su permeabilidad, y se está investigando hasta que punto esto puede ser aprovechado para prevenir la caries.

Las regiones cariadas pueden ser removidas por el laser especialmente si se encuentran pigmentadas, ya que el color aumenta el poder de absorción del laser.

El esmalte dental humano expuesto al efecto de cristalización laser, muestra una resistencia relativamente

mayor a las soluciones desmineralizantes in vitro.

Las aplicaciones futuras del laser en la dentadura humana in vivo dependen de nuevos tipos de instrumental, atendiendo a los factores de energía, duración de la exposición, amplitud y transmisión del haz.

Recientemente se ha sugerido que el rayo laser podría ser otro instrumento al alcance del odontólogo en el tratamiento quirúrgico de la caries dental. Se piensa que debido a las alteraciones cristalográficas sufridas por el esmalte, con una descarga energética reducida, ciertos materiales de porcelana podrían ser directamente fundidos en la cavidad dental. (21)

Conforme la instrumentación se desarrolla y los datos experimentales se acumulan, los efectos de la radiación laser sobre la dentadura pueden ser mejor evaluados clínicamente o probados para determinar su posición entre los métodos más útiles en el tratamiento dental.

Las aplicaciones del laser en biología parecen estar en relación con el uso de cantidades pequeñas y controladas de radiación.

Tanto en medicina como odontología las aplicaciones clínicas del rayo laser aún están en vías de experimentación salvo en oftalmología, donde según reportes se usa en desprendimiento de retina, tratamiento de pequeños tumores así como otras oftalmopatías, y aunque el progreso en ese sentido es rápido todavía es necesario un mayor conocimiento básico.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. KLEIN, Arthur. Masers y Lasers. Barcelona, Editorial Labor, Agosto 1969. 148 p. (p. 14-38; 42-44; 47-49; 59-116).
2. McCARTNEY, A. J. A consideration of the biological effects of laser. Military Medicine. Nov. 1965. (p. 1069-1077).
3. McGUFF, P. E., et al. Laser radiation for metastatic malignant melanoma. J.A.M.A. 195: 393-394, June 1966.
4. Editorial. The light that never was on sea and land. --. J.A.M.A. JAN, 195-141.
5. El futuro del laser en medicina. Abbotempo, 1:75-77, 1971.
6. Kinersly, T. et al. Laser effects on tissue and materials related to dentistry. Am. Dent. A. J. 70:593-600, March 1965.
7. Editorial. Medicine futuristic tools: laser. J.A.M. - A. Medical News 198:35-36, Dec. - 1966.
8. Kinersly, T. et al. Laser and teeth. New York State Dent J. 32:56-58, Feb. 1966.

9. Tuckfield, W.J. and James, Robert. The laser beam. Australian Dental Journal. 11:197--198, June 1966.
10. Goldman, L., et al. Effect of laser beam impacts on teeth. Am. Dent. A. J. 70:610-606, March 1965.
11. Sognaes, Reidar F. and Stern, Ralph H. Laser effect on enamel, dentin and gold foil. J. South. Calif. D.A. 33:17-19, Jan. 1965.
12. EDITORIAL. Laser effect and resistance of human dental enamel to desmineralization in vitro. J. South Calif. D. A. 33:328-329, Aug. 1965.
13. Stern, R. H., et al. Laser effect on in vitro enamel permeability and solubility. Am. - Dent. A. J. 73:838-843, Oct. 1966.
14. EDITORIAL. Laser beam effect on dental hard tissues. Abstract, J. D. - Res. 43: 873.
15. Gordon, T. E. Jr. Laser fusion of tooth enamel. A - preliminary report. Journal of the Florida State Dental S. 37:6-8, Feb. 1966.
16. Lobene, R. R., and Fine, Samuel. Interaction of la-

ser radiation with oral hard tissues.  
J. Pros. Dent. 16:589:597, June --  
1966.

17. Schein, Arge., Kantola, Sirkka. Laser induced effects on tooth structure. Acta Odontológica Escandinávica 27:173-179, Mayo 1969.
18. Ney technical bulletin. A laser in today's dental laboratory. The J. M. Ney Company, - Hartford, Connecticut, U.S.A., No. 97, 1970.
19. El rayo laser. Gráfico Suplemento Dominical - Guatemala 28 Marzo 1971. (Diario).
20. Physical Science Committee. Física. Barcelona, Editorial reverté, 1962. XV/652 p. (p. 302-352).
21. Goldman, H. M., and Sherman, D. The application of laser spectroscopy for the cualitative and cuantitative analysis of the - inorganic components of calcified tissues. J.A.M.A. 31:102-106, Jan. 1969.

---

Br. JOSE ANTONIO VALENCIA  
SUSTENTANTE

---

Vo. Bo. Dr. MARCO ANTONIO AGUIRRE  
ASESOR Y DIRECTOR DEL AREA  
DE PROTESIS

IMPRIMASE

---

Dr. ROBERTO VALDEAVELLANO P.  
DECANO