

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS BÁSICOS

1.1. RADIACIÓN Y LUZ INFRARROJA

La radiación infrarroja es la parte del espectro de radiación no ionizante comprendida entre las microondas y la luz visible. Dentro del espectro electromagnético, las distintas longitudes de onda tienen energías considerablemente diferentes para ocasionar efectos biológicos, por lo cual, el ultravioleta y el infrarrojo pueden subdividirse aún más, como se muestra en la tabla 1.1.

La radiación infrarroja se denomina también radiación térmica (o calor radiante), y es emitida por todos los objetos calientes (motores calientes, metales en fusión y otras fuentes de calor en fundiciones, lámparas eléctricas incandescentes, sistemas de calefacción radiantes, etc.). Es emitida asimismo por una gran variedad de equipos eléctricos, como motores, generadores y transformadores eléctricos y diversos equipos electrónicos [2].

Banda	Longitud de onda	Otra terminología
UVC	100 nm a 280 nm	Ultravioleta lejano
UVB	280 nm a 315 nm	Ultravioleta medio
UVA	315 nm a 400 nm	Ultravioleta cercano
LUZ	400 nm a 780 nm	Visible
IRA	780 nm a 1400 nm	Infrarrojo cercano
IRB	1.4 μ m a 3 μ m	Infrarrojo medio
IRC	3 μ m a 1000 μ m	Infrarrojo lejano

Tabla 1.1 Subdivisiones del ultravioleta y el infrarrojo.

Nota: Estos intervalos están de acuerdo con lo definidos por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE). Además, si bien no existe un límite claro entre longitudes de onda visible y UV, los límites de uso general se dan en esta tabla) [2].

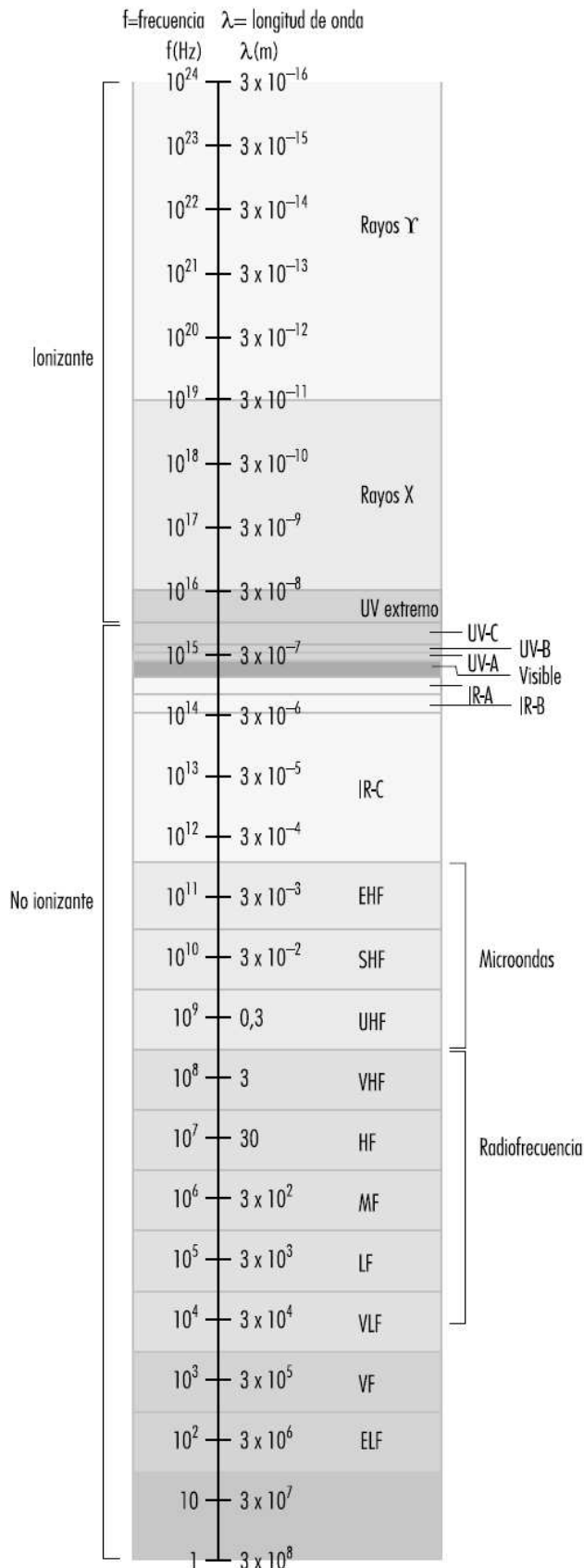


Figura 1.1. División del espectro electromagnético [2].

La radiación infrarroja es parte natural del entorno humano y por lo tanto, las personas están expuestas a ella en pequeñas cantidades en todas las situaciones de la vida diaria, por ejemplo en el hogar o durante las actividades recreativas realizadas al sol.

División del espectro infrarrojo y unidades de medida

Las longitudes de onda de la radiación infrarroja (IR) están comprendidas entre 780 nm y 1mm, su ubicación dentro del espectro electromagnético se presenta en la figura 1.1. Según la clasificación de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), esta banda se subdivide en IRA (de 780 nm a 1.4 μ m), IRB (de 1.4 μ m a 3 μ m) e IRC (de 3 μ m a 1 mm). Tal subdivisión se ajusta de manera aproximada a las características de absorción dependiente de la longitud de onda de la IR en el tejido y a los diferentes efectos biológicos resultantes [2].

En lo que a protección contra la radiación óptica se refiere, las magnitudes más importantes relativas a las fuentes puntuales o extendidas son la radiancia (L), expresada en $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ y la radiancia integrada en el tiempo (LP) en $\text{Jm}^{-2}\text{sr}^{-1}$, que expresan el “brillo” de la fuente (ver glosario).

A efectos de valorar el riesgo para la salud, las magnitudes más importantes relativas a las fuentes puntuales o extendidas, son la irradiancia (E) expresada en Wm^{-2} , que es equivalente al concepto de tasa de dosis de exposición, y la exposición radiante (H) en Jm^{-2} , que equivale al concepto de dosis de exposición [2] (ver glosario).

Radiaciones no ionizantes

Las radiaciones son formas de energía que se emiten, propagan y absorben por parte de la materia. Esta energía puede producirse en forma de ondas o de partículas corpusculares.

Las ondas son radiaciones electromagnéticas caracterizadas por:

- Frecuencia: se mide en ciclos/segundo o Hertz (Hz).
- Longitud de onda: se mide en unidades de longitud (metros).
- Energía: proporcional a la frecuencia y que se mide en electrón - volt (eV).

Las radiaciones se clasifican en Ionizantes y No Ionizantes.

Las radiaciones ionizantes, por su alto poder energético tienen capacidad para penetrar en la materia y arrancar electrones de los átomos que la constituyen, provocando con ello una ionización. Las radiaciones ionizantes engloban a los rayos X, rayos Y, partículas α , partículas β y neutrones.

Las radiaciones no ionizantes, al interaccionar con la materia biológica no producen ionización, no obstante, pueden ser causa de otros efectos, básicamente térmicos y fotoquímicos. Las frecuencias de las radiaciones no ionizantes son iguales o menores de 3000 THz y sus energías son iguales o menores a 12.4eV [20].

Radiaciones no ionizantes	Frecuencia	Energía
Radiación Ultravioleta	750 – 3000 THz	3.1 – 12.5 eV
Radiación Visible	385 – 750 THz	1.59 – 3.1 eV
Radiación Infrarroja	0.3 – 385 THz	1.24 – 1.59 meV
Microondas	0.3 – 300 GHz	1.24 ueV – 1.24 meV
Radiofrecuencias	0.1 – 300 MHz	0.41 neV – 1.24 ueV

Tabla 1.2. Frecuencia y energía de las radiaciones no ionizantes.

Fuentes de radiación infrarroja y riesgos inherentes

La exposición a la IR se debe a diversas fuentes naturales y artificiales. La emisión espectral de estas fuentes puede limitarse a una sola longitud de onda (como en el láser) o distribuirse sobre una amplia banda de longitudes de onda.

Muchos de los láseres utilizados en procesos médicos e industriales emiten niveles muy altos de IR. En general, comparada con otras fuentes de radiación, la radiación láser posee algunas características inusuales que pueden influir en el riesgo consecutivo a una exposición, tales como los impulsos de muy corta duración o una irradiancia extremadamente alta [2].

Efectos biológicos

Por regla general, la radiación óptica no penetra a mucha profundidad en el tejido biológico. Por lo tanto, los principales objetivos de una exposición a IR son la piel y los ojos. En la mayoría de condiciones de exposición el principal mecanismo de interacción de la IR es térmico. Sólo los impulsos de muy corta duración que pueden producir los láseres, pueden originar también efectos termomecánicos. Con la radiación IR no son de prever efectos debidos a ionización o a la ruptura de enlaces químicos, dado que la energía de las partículas, al ser inferior a 1.6eV aproximadamente, es demasiado baja para causar tales efectos (ver tabla 1.2). Por la misma razón, las reacciones fotoquímicas sólo revisten importancia a longitudes de onda cortas en las regiones visible y ultravioleta del espectro. Los distintos efectos de la IR para la salud, dependientes de la longitud de onda, se deben

principalmente a la propiedad de absorción de los tejidos, como ejemplo de esta afirmación tenemos la absorción espectral de los medios oculares [2] (figura 1.2.).

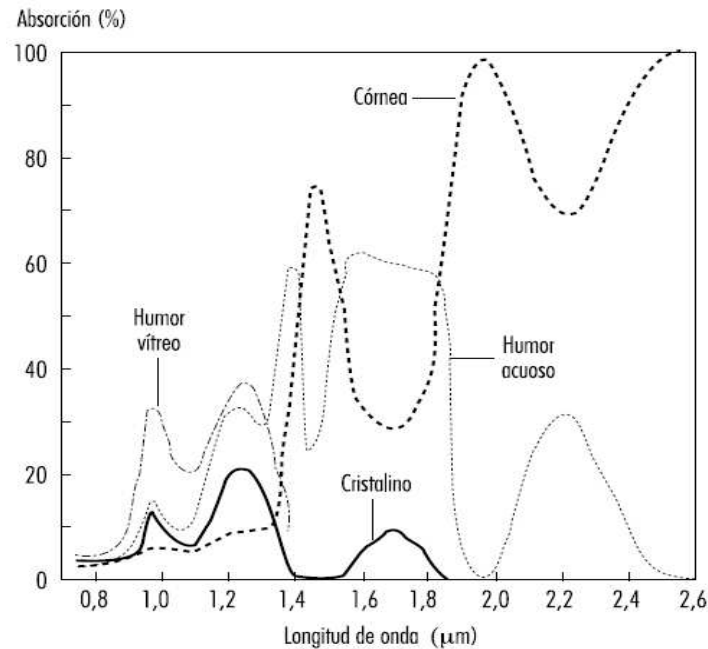


Figura 1.2. Absorción espectral de los medios oculares.

Efectos sobre el ojo

En términos generales, el ojo está bien adaptado para autoprotgerse frente a la radiación óptica del entorno natural. Además, está protegido fisiológicamente contra lesiones por fuentes de luz intensa, como el sol o las lámparas de alta intensidad, mediante una respuesta de aversión que limita la duración de la exposición a una fracción de segundo (0.25 segundos aproximadamente).

La IRA (780 – 1400nm) afecta principalmente a la retina, debido a la transparencia de los medios oculares. Además, cuando se mira directamente a una fuente puntual o a un haz láser, la capacidad de enfocar en la región de la IRA hace la retina mucho más susceptible de sufrir daños que ninguna otra parte del cuerpo.

Se considera que, con periodos de exposición cortos, el calentamiento del iris por absorción de radiación visible o IR próxima conduce a la formación de opacidades en el cristalino. Al

aumentar la longitud de onda, a partir de 1 μ m aproximadamente, aumenta también la absorción por los medios oculares. Las lesiones del cristalino se atribuyen a longitudes de onda inferiores a 3 μ m (IRA e IRB). El humor acuoso presenta una absorción especialmente elevada de la radiación infrarroja en longitudes de onda superiores a 1.4 μ m.

En la región IRB e IRC (1.4 – 1000 μ m) del espectro, los medios oculares se vuelven opacos a causa de la elevada absorción por el agua que contienen. En esta región, la absorción se produce principalmente en la córnea y el humor acuoso. Por encima de 1.9 μ m, el único medio realmente absorbente es la córnea. La absorción de radiación infrarroja de larga longitud de onda por la córnea puede elevar la temperatura del interior del ojo debido a la conducción térmica. Gracias a la rápida renovación de las células superficiales de la córnea cabe esperar que cualquier daño que se limite a la capa externa de esta última sea temporal.

En la banda de IRC (3 – 1000 μ m), la exposición puede provocar en la córnea quemaduras similares a las de la piel. No obstante, las quemaduras de la córnea no son muy probables dada la reacción de aversión que desencadena la sensación dolorosa provocada por una exposición intensa [2]. Como se aprecia en la figura 1.2, ningún medio ocular absorbe radiación infrarroja en porcentajes altos (3% aproximadamente) en la longitud de onda de los láseres empleados.

Efectos sobre la piel

La radiación infrarroja no penetra en la piel a mucha profundidad, por lo que la exposición de la piel a una IR muy intensa puede producir efectos térmicos de distinta intensidad e incluso quemaduras graves. Los efectos sobre la piel dependen de las propiedades ópticas de ésta, tales como la profundidad de penetración en función de la longitud de onda (figura 1.3.). Particularmente, a longitudes de onda mayores, una exposición extensa puede provocar un gran aumento de temperatura local y quemaduras. Debido a las propiedades físicas de los procesos de transporte térmico en la piel, los valores umbral para estos efectos dependen del tiempo. Por ejemplo, una irradiancia de 10 kWm⁻² puede causar una sensación dolorosa al cabo de 5 segundos, mientras que una exposición de 2 kWm⁻² no producirá la misma reacción en periodos de duración inferior a 50 segundos

aproximadamente [2]. En el apéndice B se presentan las tablas con los límites de exposición a radiación infrarroja para diferentes intervalos de tiempo y longitudes de onda.

Si la exposición se prolonga durante periodos muy largos, incluso con valores muy inferiores al umbral de dolor, el cuerpo humano puede sufrir una elevada carga térmica, en especial si la exposición abarca la totalidad del cuerpo como por ejemplo delante de acero fundido. Esto puede provocar un desequilibrio del sistema de termorregulación, en otro caso fisiológicamente bien equilibrado. El umbral de tolerancia de tales exposiciones depende de las diferentes condiciones individuales y ambientales, tales como la capacidad individual del sistema de termorregulación, el metabolismo del cuerpo durante la exposición o la temperatura ambiente, la humedad y el movimiento del aire (velocidad del viento). En ausencia de trabajo físico puede tolerarse una exposición de 300 Wm^{-2} como máximo durante ocho horas en determinadas condiciones ambientales, pero este valor disminuye a 140 Wm^{-2} aproximadamente durante el trabajo físico pesado [2].

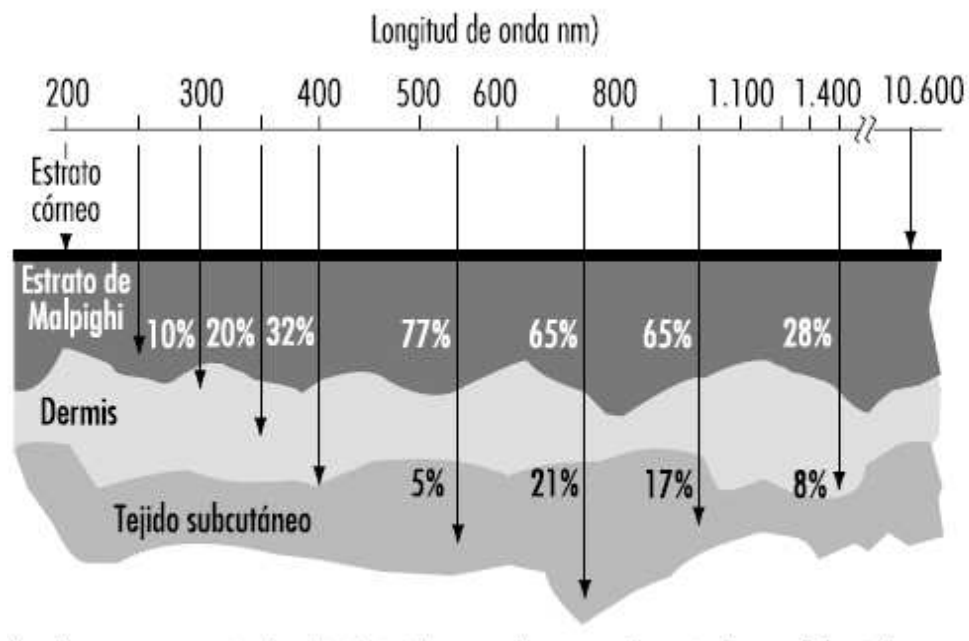


Figura 1.3. Profundidad de penetración en la piel a diferentes longitudes de onda.

Los valores son porcentajes de radiación incidente que alcanza una determinada capa de la piel.

Fuente: OMS 1982.

Normas de exposición

Los efectos biológicos de la exposición a la IR que dependen de la longitud de onda y de la duración de la exposición, sólo son intolerables si se sobrepasan ciertos valores umbral de intensidad o de dosis. Como protección frente a tales condiciones de exposición intolerables, organizaciones internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Oficina Internacional del Trabajo (OIT), el Comité Internacional de Radiación no Ionizante de la Asociación Internacional de Protección contra la Radiación (INIRC/IRPA) y su sucesora la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante (ICNIRP), así como la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH), han propuesto límites de exposición a la radiación infrarroja de fuentes ópticas tanto coherentes como incoherentes. La mayoría de las propuestas nacionales e internacionales sobre guías para limitar la exposición humana a la radiación infrarroja se basan en los valores límites umbral (TLV) publicados por la ACGIH (1993/1994) o coinciden exactamente con ellos. Dichos límites están ampliamente aceptados y se aplican con frecuencia en situaciones profesionales. Se basan en el estado actual del conocimiento científico y están destinados a prevenir lesiones térmicas de la retina y de la córnea y a evitar posibles efectos retardados en el cristalino [2].

Medición

Existen técnicas e instrumentos radiométricos que permiten analizar el riesgo para la piel y los ojos, derivado de la exposición a fuentes de radiación óptica. Para caracterizar una fuente de luz convencional suele ser muy útil medir la radiancia. Para definir condiciones de exposición peligrosa a fuentes ópticas, son más importantes la irradiancia y la exposición radiante. La evaluación de fuentes de banda ancha es más compleja que la de fuentes que emiten en una sola longitud de onda o en bandas muy estrechas, ya que han de tenerse en cuenta las características espectrales y el tamaño de la fuente. El espectro de ciertas lámparas consiste en una emisión continua en una amplia banda de longitudes de onda, simultánea a la emisión en ciertas longitudes de onda individuales (líneas). Si no se suma debidamente la fracción de energía de cada línea a la emisión continua, pueden introducirse considerables errores en la representación de esos espectros.

Medidas de protección

La exposición laboral a la radiación visible e IR rara vez entraña riesgos; no obstante, algunas fuentes emiten una cantidad considerable de radiación visible provocando con ello la respuesta de aversión natural, por lo que hay pocas probabilidades de sobreexposición accidental de los ojos. Entre las medidas que pueden adoptarse para reducir al mínimo la exposición innecesaria del personal a la radiación IR están un diseño técnico adecuado del sistema óptico que se utilice, el uso de gafas o pantallas adecuadas, la limitación del acceso a las personas directamente relacionadas con el trabajo y la comprobación de que los trabajadores son conscientes de los riesgos potenciales que entraña la exposición a fuentes de radiación intensa visible e infrarroja [2].

1.2. LÁSERES

Un láser es un dispositivo que produce energía radiante electromagnética coherente dentro del espectro óptico comprendido entre la zona final del ultravioleta y el infrarrojo lejano (submilimétrico) [2]. El término láser es el acrónimo de light amplification by stimulated emission of radiation (amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación).

La luz láser tiene las siguientes características específicas:

1. La luz láser es "monocromática", ya que los fotones que la forman tienen la misma energía y pertenecen a una misma longitud de onda y mismo color, es decir, tienen una ubicación específica dentro del espectro electromagnético. Ejemplo: con un láser verde, podemos perforar una pelota verde que se encuentra dentro de una pelota blanca, porque la pelota blanca no absorbe la luz verde, sino que la deja pasar.
2. Es "coherente". Esto significa que todas las ondas que conforman el haz láser, están en cierta fase relacionadas una con otra, tanto en tiempo como en espacio. Esto se debe a que cada fotón está en fase con el fotón entrante.

3. La luz láser es "colimada" (direccionabilidad), o lo que es lo mismo, en una sola dirección, ya que todas las ondas emitidas están casi paralelas y por tanto no hay divergencia del rayo de luz, por lo que permanece invariable aún después de largos recorridos [3].

Aunque el proceso láser fue predicho teóricamente por Albert Einstein en 1916, la primera demostración de un láser conseguido con éxito no tuvo lugar hasta 1960. En los últimos años, los láseres han encontrado múltiples aplicaciones, desde el laboratorio de investigación hasta el entorno industrial, médico y de oficinas, así como en obras de construcción e incluso en el ámbito doméstico. En numerosas aplicaciones, tales como reproductores de videodiscos y sistemas de comunicación por fibra óptica, la salida de energía radiante del láser está confinada, no existe ningún riesgo para la salud del usuario y éste puede no advertir siquiera la presencia de un láser incorporado en el producto. Sin embargo, en algunas aplicaciones médicas, industriales o en investigación la energía radiante emitida por el láser es accesible y puede suponer un riesgo potencial para los ojos y la piel.

Puesto que el proceso láser (denominado a veces "laseo") puede producir un haz de radiación óptica (es decir energía radiante ultravioleta, visible o infrarroja) fuertemente colimado, un láser supone cierto riesgo a considerable distancia. Quizás sea esta característica más que ninguna otra la que ha suscitado las especiales preocupaciones manifestadas por trabajadores y expertos en salud y seguridad en el trabajo. No obstante, los láseres pueden utilizarse sin peligro si se adoptan medidas apropiadas para controlar el riesgo. Existen normas de ámbito mundial para la utilización segura de los láseres, la mayoría de ellas "armonizadas" entre sí. En todas estas normas se utiliza un sistema de clasificación de riesgos que agrupa los productos láser en cuatro amplias categorías según la potencia de salida del láser y su capacidad para producir daño. Después se aplican medidas de seguridad acordes con la clasificación de riesgo.

Los láseres operan a longitudes de onda discretas y aunque la mayoría son monocromáticos (es decir, emiten una sola longitud de onda o un solo color) no es infrecuente que un láser

emita varias longitudes de onda discretas. Por ejemplo, el láser de argón emite varias líneas diferentes en la región del ultravioleta próximo y en la región visible del espectro, a pesar de estar diseñado en general para emitir solamente una línea verde (una sola longitud de onda) de 514.5 nm y/o una línea azul de 488 nm. Al considerar los riesgos potenciales para la salud, siempre es esencial establecer la longitud o longitudes de onda de salida.

Todos los láseres tienen tres componentes fundamentales:

1. Un medio activo (un sólido, líquido o gas) que define las longitudes de onda de emisión posibles.
2. Una fuente de energía (por ejemplo, corriente eléctrica, lámpara de bombeo o reacción química).
3. Una cavidad resonante con acoplador de salida (generalmente dos espejos).

La mayoría de los sistemas láser utilizados en la práctica fuera del laboratorio de investigación tienen también un sistema de transmisión del haz, por ejemplo una fibra óptica o un brazo articulado con espejos para dirigir el haz hacia una estación de trabajo, y lentes focalizadoras para concentrarlo sobre un material a soldar.

En un láser, átomos o moléculas idénticos se llevan a un estado excitado mediante la energía suministrada por la lámpara de bombeo. Cuando los átomos o moléculas se encuentran en un estado excitado, un fotón (“partícula” de energía luminosa) puede estimular a un átomo o molécula excitados para que emitan un segundo fotón de la misma energía (longitud de onda) que viaja en fase (radiación coherente) en la misma dirección que el fotón estimulante. Con ello se ha amplificado al doble la luz emitida. Este mismo proceso repetido en cascada hace que se forme un haz luminoso que se refleja hacia delante y hacia atrás entre los espejos de la cavidad resonante. Al ser uno de estos espejos parcialmente transparente, una parte de la energía luminosa abandona la cavidad resonante y da lugar a la emisión del haz láser. Aunque en la práctica los dos espejos paralelos suelen estar curvados para producir una situación de resonancia más estable, el principio básico es el mismo para todos los láseres.

Se han desarrollado y publicado guías y normas de seguridad en relación con los láseres, que abarcan básicamente todas las longitudes de onda del espectro óptico a fin de incluir tanto las líneas láser actualmente conocidas como los futuros láseres [2].

1.2.1 Clasificación de los riesgos de los láseres

Las normas actuales sobre seguridad de los láseres vigentes en todo el mundo siguen el método de agrupar los productos láser en clases de riesgo. En general, el esquema se basa en la agrupación en cuatro grandes clases de riesgo, de la 1 a la 4. Los láseres de clase 1 no pueden emitir radiación láser potencialmente peligrosa y no suponen ningún riesgo para la salud. Las clases 2 a 4 entrañan un riesgo creciente para los ojos y la piel. Este sistema de clasificación es útil porque se prescriben medidas de seguridad para cada clase de láser. Las clases superiores requieren medidas de seguridad más estrictas.

La clase 1 se considera un grupo sin riesgo, “seguro para la vista”. La mayoría de los láseres totalmente confinados (por ejemplo, los registradores láser de discos compactos) son de clase 1. Un láser de clase 1 no requiere ninguna medida de seguridad.

La clase 2 corresponde a los láseres visibles que emiten una potencia muy baja, la cual no sería peligrosa ni siquiera aunque el haz penetrase en el ojo humano con toda su potencia y se enfocase sobre la retina. La respuesta de aversión natural del ojo a la contemplación de fuentes de luz muy brillante lo protege contra lesiones de retina si la energía que entra en él es insuficiente para dañarla dentro del tiempo de respuesta de aversión. Dicha respuesta consiste en el reflejo de parpadeo (de 0.16 a 0.18 segundos aproximadamente), la rotación del ojo y el movimiento de la cabeza cuando se produce la exposición a esa luz tan brillante. Las normas de seguridad actuales definen de modo conservador una duración de la respuesta de aversión de 0.25 segundos. Por lo tanto, los láseres de clase 2 tienen una potencia de salida igual o inferior a 1 miliwatt (mW), que corresponde al límite de exposición admisible para 0.25 segundos. Son ejemplos de esta clase 2 los punteros láser y algunos láseres de alineación.

Algunas normas de seguridad contemplan también una subcategoría de la clase 2 denominada “clase 2A”. La contemplación de los láseres de clase 2A no es peligrosa durante un tiempo máximo de 1 000 s (16.7 minutos). La mayoría de los lectores láser utilizados en puntos de venta (cajas de supermercados) y de los lectores de inventario son de la clase 2A.

Los láseres de la clase 3 presentan un riesgo para la vista, dado que la respuesta de aversión no es lo bastante rápida para limitar la exposición de la retina a un nivel momentáneamente seguro y también pueden producirse daños en otras estructuras del ojo (por ejemplo, la córnea y el cristalino). Normalmente la exposición accidental no entraña riesgos para la piel. Son ejemplos de láseres de clase 3 numerosos láseres de investigación y telémetros láser militares.

La clase 3 tiene una subcategoría especial, denominada “clase 3A” (el resto de los láseres de clase 3 se denominan “clase 3B”). Los láseres de la clase 3A tienen una potencia de salida comprendida entre una y cinco veces los límites de emisión accesible (AEL) para la clase 1 o la clase 2, pero con una irradiancia de salida no superior al límite de exposición profesional correspondiente a la clase inferior. Son ejemplos de esta clase numerosos instrumentos láser de alineación y topografía.

Los láseres de clase 4 pueden entrañar riesgo de incendio, riesgo considerable para la piel o riesgo de reflexión difusa. Casi todos los láseres quirúrgicos y los de procesamiento de materiales utilizados para soldadura y corte son de clase 4 si no están confinados. Todos los láseres con una potencia de salida media superior a 0.5 W son de clase 4. Si un láser de alta potencia de clase 3 o clase 4 está totalmente confinado de manera que la energía radiante peligrosa no sea accesible, el sistema láser total podría ser de clase 1. El láser más peligroso, situado dentro de una carcasa se denomina láser interno o encapsulado [2].

1.2.2 Normas de seguridad sobre láseres

Muchas naciones han publicado normas de seguridad sobre láseres y la mayoría de ellas están armonizadas con la norma internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI).

La norma CEI 825-1 (1993) rige para los fabricantes; no obstante, también ofrece algunas orientaciones limitadas sobre seguridad para los usuarios. Todos los productos láser comerciales deben exhibir la clasificación de riesgos indicada. En todos los productos de las clases 2 a 4 debe aparecer una etiqueta de advertencia apropiada según la clase correspondiente [2].

Medidas de seguridad

El sistema de clasificación de riesgos de los láseres facilita considerablemente la determinación de las medidas de seguridad adecuadas. Las normas de seguridad sobre láseres y las reglas prácticas requieren por sistema la adopción de medidas de control tanto más restrictivas cuánto más alta es la clasificación.

En la práctica siempre es preferible confinar totalmente el láser y la trayectoria del haz de manera que no sea accesible ninguna radiación láser potencialmente peligrosa. En otras palabras, si sólo se utilizan productos láser de clase 1 en el lugar de trabajo, la seguridad de uso está garantizada. Sin embargo, en muchas situaciones esto sencillamente no es viable, por lo que se requiere la oportuna formación de los usuarios en la utilización segura del producto y en las medidas de control del riesgo.

Aparte de la regla evidente de no apuntar con un láser a los ojos de una persona, no se exige ninguna medida de control para un producto láser de clase 2. Para los láseres de clases superiores se requieren obviamente medidas de seguridad.

Si no es factible el confinamiento total de un láser de clase 3 o 4, el uso de carcasas que cubran el haz (por ejemplo tubos), pantallas deflectoras y cubiertas ópticas puede eliminar casi totalmente el riesgo de exposición ocular peligrosa en la mayoría de los casos.

Cuando no sea posible encerrar láseres de las clases 3 y 4, deberá establecerse una zona con entrada controlada para el láser y generalmente dentro de la zona de riesgo nominal (ZRN) del haz láser es obligatorio el uso de protectores oculares. Aunque en la mayoría de laboratorios de investigación en los que se utilizan haces láser colimados la ZRN abarca la totalidad de la zona controlada del laboratorio, en aplicaciones de haz focalizado la ZRN puede ser sorprendentemente limitada y no abarcar toda la sala.

Durante la alineación y la puesta a punto inicial del láser es preciso adoptar precauciones especiales, ya que la probabilidad de sufrir lesiones oculares graves es muy elevada en tales circunstancias. Las personas que trabajen con láseres deberán estar instruidas en los métodos de seguridad antes de realizar la puesta a punto y alineación del láser.

Se desarrollaron medios de protección ocular contra los daños que puede causar el láser y se definieron especificaciones para determinar las densidades ópticas (ver glosario) que serían necesarias para láseres específicos en función de la longitud de onda y de la duración de la exposición. Aunque existen en Europa normas específicas de protección ocular contra el láser, en Estados Unidos el American National Standards Institute facilita otras guías bajo las designaciones ANSI Z136.1 y ANSI Z136.3 [2].

1.3. TECNOLOGÍAS ÓPTICAS MULTITOUCH

Como ya se mencionó, multitouch es el nombre que recibe la interacción entre máquina-hombre, permite al usuario de la computadora el control de aplicaciones gráficas con los dedos. Existen una gran variedad de técnicas para elaborar un hardware multitouch.

Los dispositivos multitouch consisten de una pantalla sensible al tacto (pantalla de computadora, mesa, pared, etc.) y el software que reconoce simultáneamente los múltiples puntos de contacto, a diferencia del touchpad de las computadoras portátiles, el cual reconoce solo un punto de contacto.

En la actualidad hay cinco técnicas principales para elaborar un hardware multitouch; reflexión interna total frustrada (FTIR), iluminación difusa (DI), plano de luz láser (LLP), plano de luz LED (LED-LP) y finalmente la superficie de iluminación difusa (DSI). El principio de funcionamiento de estas cinco técnicas se basa en sensores ópticos.

Existen otras técnicas de sensado táctil, que incluyen como sensores dispositivos de proximidad, acústicos, capacitivos, resistivos, de movimiento, de orientación, y de presión. Varios sensores son combinados para formar una técnica particular de sensado multitouch [1].

1.3.1. Introducción a las tecnologías ópticas multitouch

El mayor porcentaje de dispositivos multitouch está basado en la detección óptica de luz, es decir, utilizando cámaras como sensores ópticos. El bajo costo, la adaptación a espacios pequeños o grandes y la facilidad de la su configuración son las principales razones de la popularidad de estas técnicas ópticas. La reflexión interna total frustrada (FTIR), iluminación difusa frontal y trasera (DI), plano de la luz láser (LLP), y la superficie de iluminación difusa (DSI), son ejemplos de sistemas multitouch basados en cámaras.

Cada una de estas técnicas consiste en un sensor óptico (típicamente una cámara), una fuente de luz infrarroja y una retroalimentación visual que puede ser una proyección en una superficie. Estos 3 mecanismos son la estructura principal que tienen en común todas las técnicas ópticas [1].

1.3.2. Fuentes de luz infrarrojas

La luz infrarroja o luz IR es una porción del espectro de luz que cae justo antes de la luz que el ojo humano puede percibir, en este rango la longitud de onda es mayor que la de la luz visible, pero menor que la de las microondas. Consecuentemente, tiene menor frecuencia que la luz visible y mayor que las microondas. El infrarrojo cercano (NIR) es el extremo inferior del espectro de la luz infrarroja y de las longitudes de onda típicamente consideradas entre 700nm y 1000nm. La mayoría de los sensores de las cámaras digitales son también sensibles por lo menos a NIR y a menudo tienen un filtro para quitar esa parte

del espectro así que capturan solamente el espectro de la luz visible. Quitando el filtro de bloqueo infrarrojo y substituyéndolo por uno que bloquea la luz visible, se crea una cámara que ve solamente la luz infrarroja.

La luz infrarroja se utiliza principalmente en los dispositivos multitouch para distinguir entre la proyección en la superficie y los dedos que son sensados. Puesto que la mayoría de los hardware multitouch tienen un sistema de retroalimentación visual en donde la imagen que viene de un proyector se muestra en la superficie, es importante que la cámara no vea esta imagen al intentar sensar o rastrear los objetos en la superficie. Para separar los objetos que son sensados de la proyección, una cámara, según lo explicado arriba, se modifica para ver solamente el espectro infrarrojo de la luz; esto filtra la imagen visual (espectro de la luz visible) de ser visto por la cámara y por lo tanto, la cámara puede ver solamente la luz infrarroja que ilumina los dedos sobre la superficie de tacto.

En la mayoría de las técnicas ópticas multitouch (especialmente LED-LP y FTIR), se utiliza el IR LED porque son eficientes y eficaces en el abastecimiento de la luz infrarroja. Por otra parte, la iluminación difusa (DI) no requiere IR LED, sino una fuente de luz infrarroja como un iluminador infrarrojo (que pueda tener LED adentro). El plano de la luz láser (LLP) utiliza los láseres de IR como la fuente de luz [1].

1.3.3. Cámaras infrarrojas

Las cámaras web estándares trabajan muy bien para las aplicaciones multitouch, pero necesitan ser modificadas primero. Las cámaras web y las cámaras de uso cotidiano bloquean la luz infrarroja, dejando pasar solamente la luz visible.

La mayoría de las cámaras pueden capturar cierta luz infrarroja sin la modificación, pero pueden alcanzar un mejor rendimiento si el filtro es reemplazado. El rendimiento del dispositivo multitouch depende de los componentes usados. Por lo tanto, es importante seleccionar cuidadosamente los componentes del hardware [1].

Resolución: La resolución de la cámara es muy importante. Mientras mayor sea la resolución más pixeles estarán disponibles para detectar el dedo u objetos en la imagen de la cámara. Esto es muy importante para la precisión del dispositivo táctil. Para superficies pequeñas multitouch una cámara web de baja resolución (320 x 240) puede ser suficiente. Superficies más grandes requieren cámaras con una resolución de 640 x 480 o mayor para mantener la precisión.

Velocidad de cuadro por segundo: Es el número de cuadros que una cámara puede tomar en el plazo de un segundo. Entre más cuadros sean capturados, significa que tenemos más información de lo que está sucediendo en tiempo real. Para acoplar los rápidos movimientos a una respuesta rápida del sistema, una cámara con por lo menos 30 cuadros por segundo (FPS) es recomendable.

Interfaz: Básicamente hay dos tipos de interfaces que se puedan utilizar para conectar una cámara con una computadora. Dependiendo del presupuesto disponible uno puede elegir entre una cámara web estándar que utilice un interfaz USB o una cámara profesional que utiliza una interfaz de IEEE 1394 (que también se conoce como firewire). Un dispositivo 1394 de IEEE se recomienda porque tiene generalmente bajo estado de latencia (ver glosario) en la transferencia de la imagen de la cámara a la computadora.

Tipo de lente: La mayoría de las cámaras web contienen un filtro infrarrojo (IR) que evita que la luz del IR alcance el sensor de la cámara. Esto se hace para prevenir la distorsión de imagen. Para nuestro propósito, necesitamos capturar y utilizar la luz del IR. En algunas cámaras web es posible quitar el filtro del IR. Este filtro se coloca detrás de la lente y tiene a menudo un color rojo. Si no es posible quitar el filtro del IR, la lente tiene que ser sustituida por otra. En cámaras web el montaje M12 es el más usado. Las cámaras profesionales de la serie IEEE 1394 vienen a menudo sin una lente. Dependiendo del tipo de cámara es posible utilizar un montaje M12, C o CS para sujetar la lente.

Elegir la lente adecuada puede ser una tarea difícil, muchas fábricas afortunadamente proporcionan una calculadora en línea de la lente. La calculadora calcula la longitud focal

requerida basada en dos parámetros de entrada, que son la distancia entre la lente y el objeto (superficie del tacto) y la anchura o altura de la superficie táctil. Es necesario comprobar que la calculadora elija una lente apropiada. Las lentes con una longitud focal baja sufren a menudo de distorsión de imagen severa (distorsión de barril/ojo de pescado), que puede complicar la calibración del software de rastreo [1].

1.4. LASER LIGHT PLANE (LLP)

La luz infrarroja de los láseres brilla justo sobre la superficie. El plano de luz láser debe ser aproximadamente de 1 mm de grosor y estar situado encima de la superficie, cuando el dedo toque la superficie se registrará como un punto de toque [1] (figura 1.4.).

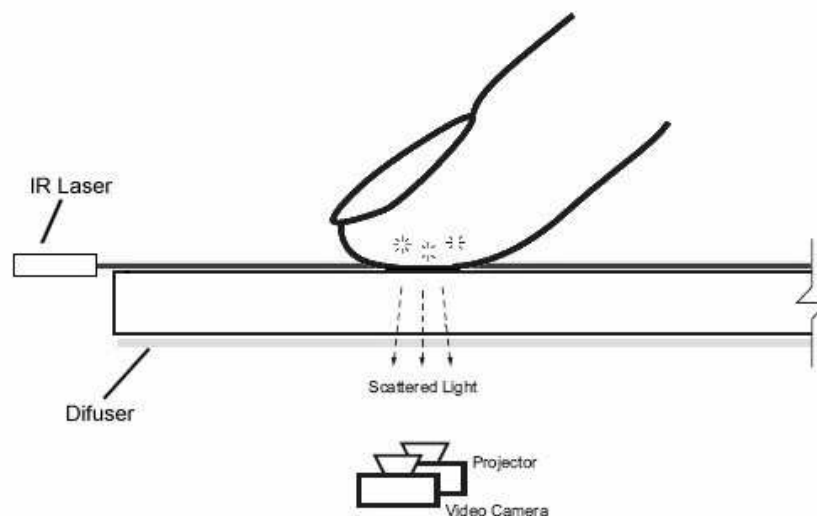


Figura 1.4. Funcionamiento de la técnica LLP

Los láseres infrarrojos son una forma fácil y por lo general económica de crear una configuración multitouch utilizando el método LLP. La mayoría de las configuraciones usan de 2 a 4 láseres, colocados en las esquinas de la superficie. El rango de potencia de láser (mW, W) está relacionado con su brillantez, así a mayor potencia, más brillantez del plano IR.

Las longitudes de onda de luz infrarroja comúnmente usadas son de 780nm y 940nm. Los módulos láser necesitan tener lentes generadores de línea para crear el plano de luz. Las lentes generadoras de línea de 120 grados son las más comúnmente usadas para reducir el número necesario de láseres que cubren la totalidad de la superficie de toque.

Las lentes generadoras de línea son usadas para expandir el haz de luz del láser de una dimensión lineal a un plano de 2 dimensiones. Estas lentes generadoras de línea reducen la intensidad del láser, pero el riesgo aún está presente. Es imperativo que los lentes de protección para la luz láser correspondan a la longitud de onda del láser usado y deben ser empleados durante la configuración del dispositivo LLP.

Ningún objeto que pueda refractar la luz indiscriminadamente debe ser colocado durante la configuración, por ejemplo, el fondo de un vaso cilíndrico de vino puede causar que la luz láser sea reflejada sobre otra área peligrosamente. Una barrera debe ser colocada alrededor de la frontera de la configuración para encapsular los haces de los láseres de manera que ningún láser debe poder ser observado directamente.

Existe una gran variedad de lentes de protección. Los anteojos son clasificados por su densidad óptica (OD), que es el logaritmo base 10 del factor de atenuación por el cual el filtro óptico reduce la energía del haz. Por ejemplo, anteojos con OD 3 reducirán la energía del haz en la gama de longitud de onda especificada por un factor de 1000 y una protección OD 5 reducirá la potencia del haz 100 veces más que un lente OD 3. Una protección de densidad óptica puede proteger los ojos contra la luz láser reflejada o dispersada, así como de la exposición directa a un rayo láser.

Resulta atinado realizar la configuración de un sistema con láser rojo visible de baja potencia para alineamiento básico debido a que estos son más seguros y ópticamente se comportan similarmente. Cuando se cambia a IR, existen tarjetas de detección que permiten observar la potencia de los láseres IR por absorción de la luz y remitiendo la luz visible, al igual que una tarjeta índice para verificar un haz visible, esta es una manera útil de verificar el alineamiento del láser IR usando lentes de protección.

Reiteramos las precauciones de seguridad más importantes mencionadas anteriormente: siempre utilizar lentes de seguridad durante la configuración, y nunca apuntar un láser directamente al ojo.

Si se emplean precauciones extremas y estas reglas no son rotas, la configuración de dispositivos LLP es segura. Sin embargo cualquier violación de cualquiera de estas guías de seguridad puede resultar en severas lesiones y daño permanente a la retina [1].

1.4.1. Ventajas y desventajas

Ventajas

- Pueden usarse materiales transparentes como el vidrio (no solamente acrílico).
- No requiere marco de LED.
- Configuración sencilla.
- Puede ser un poco más económica que otras técnicas.
- No se ve afectada por la luz de día.
- Es llamada también técnica de cero esfuerzo (como se explica en la página 29).

Desventajas

- No puede rastrear objetos tradicionales y fiduciaros (ver glosario).
- La intensidad de la luz detectada por la cámara no cambia con las variaciones de presión.
- Puede causar oclusión (ver glosario) si se emplean solamente 1 o 2 láseres.
- Es muy sensible a los puntos de toque de los usuarios, la superficie responderá aún a contactos accidentales.
- Los láseres son potencialmente peligrosos para los ojos y la piel.
- Disponibilidad de láseres infrarrojos [1].

1.5. TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN (TIC)

Hoy en día, en todas las áreas de la vida cotidiana la tecnología es una herramienta excelente que nos ayuda a facilitar aquellas tareas complicadas. Las tecnologías de la información y la comunicación son el conjunto de tecnologías que permiten la adquisición, producción, almacenamiento, tratamiento, comunicación, registro y presentación de informaciones, en forma de voz, imágenes y datos contenidos en señales de naturaleza acústica, óptica o electromagnética. Las TIC incluyen la electrónica como tecnología base que soporta el desarrollo de las telecomunicaciones, la informática y la parte audiovisual.

Entre las características de las TIC se encuentran la inmaterialidad, la instantaneidad y las aplicaciones multimedia. La primera se refiere a la digitalización de la información, ya que es posible almacenar grandes cantidades de información en dispositivos físicos pequeños. La instantaneidad se refiere a que se puede transmitir la información instantáneamente a lugares muy lejanos. La última característica mencionada hace alusión a las aplicaciones o programas multimedia que han sido desarrollados como una interfaz para facilitar el acceso a las TIC a todos los usuarios, esto se refiere a la interactividad, ya que a diferencia de las tecnologías clásicas que permiten una interacción unidireccional, de un emisor a una masa de espectadores pasivos, las TIC proporcionan una comunicación bidireccional.

La instrumentación tecnológica es una prioridad en la comunicación de hoy en día, ya que las tecnologías de la comunicación son la diferencia entre una civilización desarrollada y otra en vías de. Éstas poseen la característica de ayudar a comunicarnos porque se desaparecen las distancias geográficas y el tiempo [7].

1.5.1. TIC enfocadas a la educación

En los últimos años las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) están sufriendo un desarrollo vertiginoso, esto está afectando a prácticamente todos los campos de nuestra sociedad, y la educación no es una excepción. Esas tecnologías se presentan cada vez más como una necesidad en el contexto de sociedad donde los rápidos cambios, el aumento de los conocimientos y las demandas de una educación de alto nivel

constantemente actualizada se convierten en una exigencia permanente. Este tipo de tecnologías tiene aplicaciones en muchas áreas, como son la educación, la industria, etc.

Limitaciones

- Elevado costo de equipamiento e infraestructura.
- Limitados recursos económicos de los educadores para la adquisición de equipos.
- Falta de capacitación a los educadores para que puedan aplicar de manera adecuada en la práctica docente los cambios que implica la tecnología en los medios educativos y los recursos a los que los estudiantes tienen acceso.
- Falta de motivación de los educadores por su propia formación y actualización, ya que esta no le representa incentivos y/o oportunidades adicionales.

Necesidades metodológicas

- Capacitar, sensibilizar y actualizar a los docentes en el uso adecuado de las TIC en el ejercicio docente.
- Propiciar la adquisición y uso en la práctica docente de paquetes didácticos elaborados en base a las TIC.
- Desarrollar contenidos locales, regionales y nacionales en línea y formato digital como una manera de optimizar los recursos disponibles y de fortalecer la red.

Retos tecnológicos para la educación

1. La construcción de la infraestructura tecnológica en todos los centros educativos.
2. Integración de la tecnología en la instrucción.
3. Capacitación de todos los docentes de las distintas áreas para integrar la tecnología en la enseñanza.
4. Proveer soporte adecuado de usuario.

En la actualidad se busca integrar nuevas metodologías didácticas en las aulas, con el fin de mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje y avanzar en una progresiva innovación metodológica [7].

