

Láseres: riesgos en su utilización

Laboratorio Láser-UZ

Introducción

La gran variedad de láseres que se fabrican en la actualidad, y sus diferentes características de emisión en función del tipo de aplicación, hace en ocasiones difícil, identificar la existencia de un potencial riesgo laboral y la adopción de las medidas preventivas más apropiadas.

Esta nota técnica tiene por objeto definir brevemente las características más importantes de los láseres, introduciendo al lector en los posibles riesgos que pueden derivarse de su utilización y cómo identificarlos sin recurrir a medidas de exposición.

Definición

Los láseres son dispositivos que producen y amplifican un haz de radiación electromagnética en el intervalo de longitudes de onda de 200 nanómetros a 1 milímetro, como resultado de una emisión estimulada controlada.

El haz de radiación obtenido de esta forma tiene tres propiedades que lo diferencian de la radiación obtenida de fuentes convencionales.

Es monocromático (de una longitud de onda concreta), es coherente (todas las ondas electromagnéticas coinciden en fase) y se emite en una dirección determinada (con muy pequeña divergencia angular, de forma que la dispersión del haz no es significativa respecto a su longitud).

Elementos de un haz láser

Un láser se compone básicamente de tres elementos: sistema de bombeo, medio activo y cavidad óptica.

El sistema de bombeo es el encargado de suministrar energía al medio activo, donde se va a producir la radiación, esta radiación se amplificará por reflexiones sucesivas en los espejos de la cavidad óptica. Combinando las distintas variaciones de estos tres elementos, se han desarrollado láseres de muy diferentes características que permiten su utilización en múltiples aplicaciones. En la figura 1 se expone el esquema de una láser He-Ne.

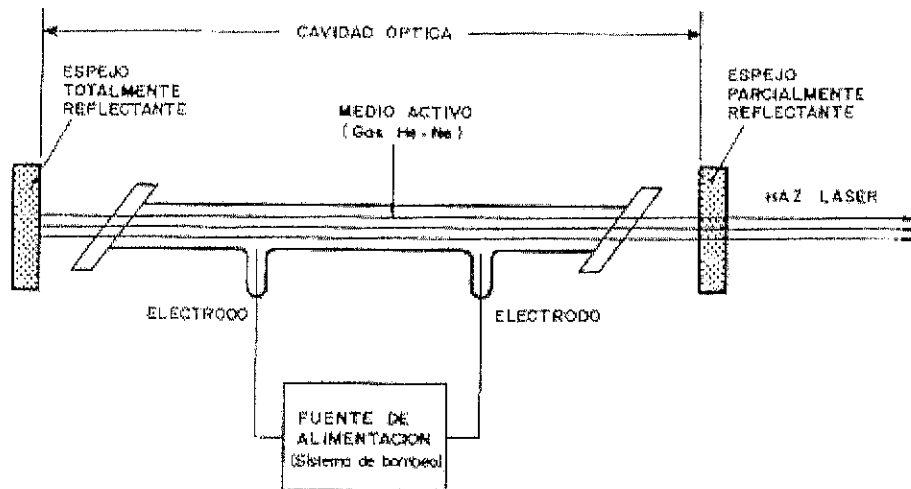


Fig. 1: Esquema de un láser He-Ne

Características de un haz láser

Un haz láser estará perfectamente definido si conocemos su:

- Longitud de onda de emisión.
- Duración de la emisión.
- Potencia o energía del haz.
- Diámetro del haz.
- Divergencia.

La capacidad de un láser para producir un riesgo vendrá determinada principalmente por los tres primeros factores: longitud de onda, duración o tiempo de exposición y potencia o energía del haz.

Longitud de onda

Según su definición un haz láser puede emitirse en la región visible del espectro (400-700 nm), en la región ultravioleta (200-400 nm) o en la región infrarroja (700-10⁶ nm), siendo obviamente invisible en los dos últimos casos.

La longitud de onda (λ) de la radiación emitida por un láser depende de la composición química del medio activo o medio "laseante". Dependiendo del tipo de compuesto utilizado se producirán una o varias líneas de emisión a longitudes de onda concretas. Los láseres cuyo medio activo es un colorante son una excepción ya que en ellos se puede variar la λ de salida dentro de un cierto intervalo. Se dice entonces que son láseres sintonizables.

Duración

La salida del haz láser, puede ser de dos formas: onda continua ($t > 0,25$ s), o Impulsos o tren de impulsos ($t < 0,25$ s), dependiendo de la forma en que el sistema de bombeo aporta la energía al medio activo.

Potencia o energía

La potencia de salida de los láseres varía mucho de unos tipos de láser a otros. Los láseres continuos se caracterizan por su potencia máxima de salida (medida en vatios), mientras que los láseres de impulsos se caracterizan por su energía total por pulso (medida en julios), debiéndose conocer además la potencia pico, la duración del pulso y la frecuencia de repetición del pulso.

Existen varias técnicas para provocar pulsos muy cortos (ns a ps) obteniendo potencias de pico muy altas, (se puede llegar hasta los MW o GW) destacando entre ellas Q-Switch y Mode locking.

NOTA: Para describir un láser, generalmente se cita el **medio activo** seguido de la **duración del pulso** y de su potencia máxima de salida o de su **energía total/pulso**. Por ejemplo un láser He-Ne CW de 5 mW será un láser cuyo medio activo es He-Ne, que emite radiación visible de forma continua con una potencia media de 5 mW.

Otro ejemplo: un láser Nd-YAG 150 mJ/10 ns, es un láser cuyo medio activo es un granate de ytrio y aluminio dopado con neodimio, que emite pulsos de radiación IR de 150 mJ con una duración de cada pulso de 10 nanosegundos.

Efectos biológicos

Los órganos que pueden resultar dañados en una exposición a radiación láser son los ojos y la piel. La gravedad de la lesión dependerá de la longitud de onda del láser y del nivel de exposición alcanzado, que es función de la potencia o energía del láser y del tiempo de exposición.

En los ojos, el tipo de lesión producida varía con la longitud de onda de la radiación:

- La radiación visible (400-700 nm) y la de infrarrojo-A (700-1400 nm) pueden atravesar los diferentes tejidos que componen el ojo (córnea, humor acuoso, cristalino, humor vítreo) y alcanzar la retina, produciendo en ella una lesión térmica o fotoquímica. Debido a que la córnea actúa como una lente convergente, cuando el ojo esté focalizando un haz láser la lesión se producirá en la fovea o mácula, deteriorando la función visual a veces de forma irreversible. Si no se está focalizando el haz láser, tendremos una lesión periférica en la retina que puede llegar a pasar inadvertida, detectándose en una revisión oftalmológica.
- La radiación ultravioleta-A (315-400 nm) es absorbida en un alto porcentaje por el cristalino, siendo la lesión predominante las cataratas.
- Las radiaciones UV-B (280 a 315 nm), UV-C (200 a 280 nm), IR-B (1.4 a 3.0 μm) e IR-C (3.0 μm a 1 mm), son detenidas y absorbidas mayoritariamente por la córnea, produciéndose respectivamente fotoqueratitis (UV) o quemadura corneal (IR).

En la figura 2 se puede ver una sección simplificada del ojo humano en el que se indican sus elementos más importantes.

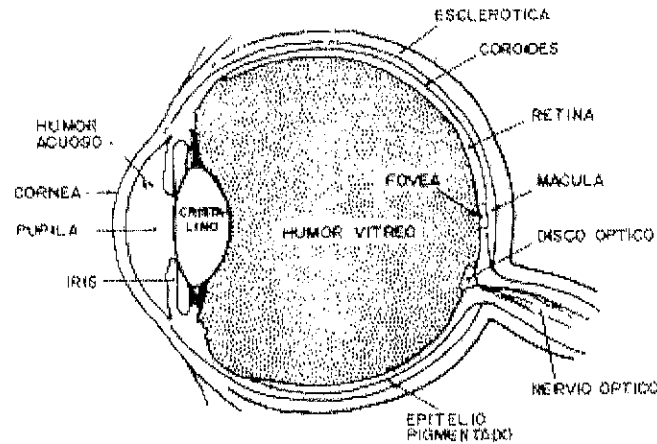


Fig. 2: Sección de un ojo humano

En el caso de la piel, la profundidad de penetración de un haz láser variará también con la longitud de onda, pero la reacción normal cuando hay una sobreexposición será una quemadura más o menos profunda, que con el tiempo puede regenerar (véase figura 3.)

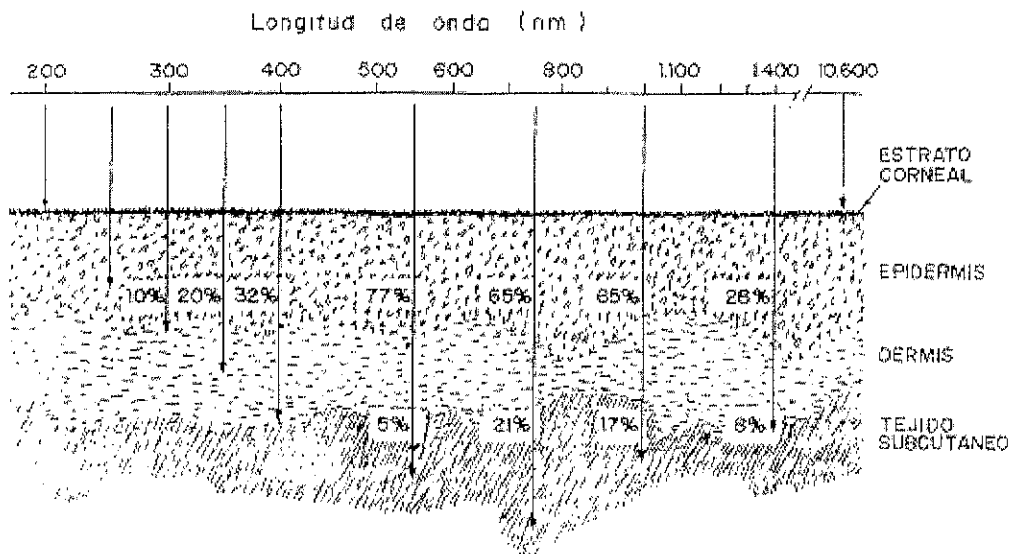







Fig. 3: Penetración de la radiación óptica en la piel a diferentes longitudes de onda

En la Tabla 1 se puede ver un resumen de la variación de los efectos biológicos para las diferentes bandas espectrales.

REGIÓN DEL ESPECTRO (CIE)	ABSORCIÓN DEL OJO	MAXIMA ABSORCIÓN EN	LESIÓN PRODUCIDA	EJEMPLO DE LASERES REPRESENTATIVOS
UV-C y UV-B 280 a 315 nm		Cornea	Fotokeratitis	Ar - excímeros (193 nm) Kr - excímeros (248 nm)
UVA 315 a 400 nm		Cristalino	Catarata fotoquímica	He - Cd (325 nm) Xe - excímeros (350 nm) N ₂ (337.1 nm)
Visible 400 - 780 nm		Retina	Lesiones retinianas fotoquímicas y térmicas	He - Cd (441.6 nm) Ar ⁺ (varias líneas) Kr ⁺ (varias líneas) He - Ne (633.8 nm)
IR A 780 - 1400 nm		Retina	Lesión térmica en la retina	Co:As (850 nm) Nd:YAG (1064.5 nm)
IR B y IR C 1400 nm a 1.000 nm		Cornea	Catarata térmica y queratitis corneal	Co:As (850 nm) Nd:YAG (1064.5 nm)

Otros factores de riesgo

Existen otros factores distintos a la propia radiación láser, que pueden ser inherentes a la utilización de ciertos láseres, y dependen del tipo de láser utilizado, los materiales empleados y el proceso realizado. Entre ellos se puede citar:

Contaminación atmosférica

Producida por el material vaporizado por el láser, gases procedentes de sistemas láser con circulación de gas de subproductos de reacciones (p. ej. Br₂, Cl₂, CNH, F₂), o gases o vapores procedentes de agentes criogénicos.

Riesgos de radiación colateral

Puede haber un riesgo potencial producido por la radiación UV, o por la radiación Visible y de IR próximo, asociados a los sistemas de bombeo, (p. ej. lámparas de destello), cuya radiancia puede ser suficiente para producir un daño por exposición crónica.

Riesgos eléctricos

La mayoría de los láseres que utilizan altas tensiones (>1 kV) y los láseres pulsados, son especialmente peligrosos por la energía acumulada en las baterías de condensadores. La seguridad eléctrica de los láseres está recogida en la norma CEI 820.

Refrigerantes criogénicos

Los líquidos criogénicos, pueden causar quemaduras y su manipulación exige precauciones especiales.

Otros riesgos

Tales como explosión de una batería de condensadores o de un sistema de bombeo óptico durante el funcionamiento de algunos sistemas láser de gran potencia. También pueden producirse partículas volantes durante las operaciones de corte, perforado y soldadura y reacciones explosivas de los reactivos de un láser químico o de otros gases usados dentro del laboratorio.

Unidades de medida de una exposición a radiación láser

Como el efecto biológico de una radiación incidente sobre un tejido depende de la energía absorbida por unidad de superficie absorbente, la exposición a radiación láser "directa" se medirá en términos de **irradiancia** (láseres continuos) o de **exposición radiante** (láseres de impulsos).

Cuando la visión de la fuente no es puntual, o se trata de una visión de reflexión difusa de un haz, hay que tener en cuenta además la radiación por unidad de ángulo sólido de emisión (sr), utilizándose entonces la **radiancia** (láseres continuos) o la **radiancia integrada** (láseres de impulsos).

Estas unidades están definidas por la norma CEI-825-84 como sigue:

Irradiancia

Flujo radiante por unidad de superficie receptora. Se representa por E y se mide en W/cm^2 .

Exposición radiante

Representa la energía total incidente por unidad de superficie receptora. Se mide en J/cm^2 . Se utiliza para medir la cantidad de energía que llega a un receptor cuando la fuente es pulsada.

Radiancia

Potencia radiante de una superficie emisora de radiación por unidad de superficie y por unidad de ángulo sólido. Símbolo: L; Unidades: $W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$.

Radiancia integrada

Es la integral de la radiancia durante un tiempo de exposición determinado, expresada como energía radiante por unidad de área de la superficie emisora y por unidad de ángulo sólido de emisión. Unidades: $J \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$.

Clasificación de los láseres

Los láseres no forman un solo grupo al cual se apliquen límites de seguridad comunes, ya que los riesgos que se derivan de su uso varían notablemente. Ello es debido a los amplios intervalos posibles para la longitud de onda, la

potencia o energía y las características de emisión continua o de impulsos de un haz láser.

Una forma de simplificar el problema es agruparlos en una clasificación según su grado de peligrosidad, y de ello se han encargado los diversos organismos relacionados con la seguridad láser, entre ellos el CEI (Comité Electrónico Internacional), el ANSI (American National Standard Institute) y el BRH (Bureau of Radiological Health); aunque estas clasificaciones no coinciden en su totalidad, son bastantes similares.

Exponemos aquí de forma resumida la clasificación de la norma CEI-825-1984, que agrupa los láseres en 4 clases generales, especificando para cada uno de ellos los **límites de emisión accesibles** (LEAs) o niveles de emisión accesible máximos permitidos dentro de una clase determinada. (Tablas I a IV de la Norma CEI-825-84).

Las tablas clasificatorias de la norma CEI-825-1984 están basadas en el criterio de la **exposición máxima permisible** (EMP), definida como nivel de radiación láser al que, en circunstancias normales pueden exponerse las personas sin sufrir efectos adversos. Los niveles de EMP representan el nivel máximo al que es posible exponer los ojos o la piel sin que se produzcan lesiones inmediatas ni después de un periodo prolongado de tiempo. Se utilizan como guía en el control de exposiciones, pero se recomienda que, en cualquier caso, la exposición a radiación láser sea la mínima posible.

Clase 1

Láseres intrínsecamente seguros (nunca se sobrepasa el nivel de EMP, o los que son seguros debido a su diseño.

Clase 2

Láseres de poca potencia de salida que emiten radiación visible (400-700 nm) y que pueden funcionar en modo continuo o pulsado. La potencia o energía de estos sistemas está limitada a los LEAs de la Clase 1 para duraciones de exposición de hasta 0,25 s.

Para un láser continuo, el límite es de 1 mW.

Clase 3A

Láseres cuya potencia de salida es hasta 5 mW (emisión continua) o cinco veces el LEA de la clase 2 (emisiones pulsadas o repetitivas), para la región espectral 400-700 nm. La irradiancia en cualquier punto del haz visible no debe sobrepasar los 25 Wm^{-2} . Para otras regiones espectrales la radiación láser no debe sobrepasar cinco veces el LEA de la clase 1, ni superar la irradiancia ni la exposición radiante de la correspondiente tabla de la norma CEI.

NOTA: La visión directa de un haz láser de la Clase 3A con ayudas ópticas, puede ser peligrosa. Para láseres que emiten en el visible, la protección del ojo

desnudo se produce mediante reflejos de aversión, incluyendo el parpadeo.

Clase 3B

Láseres que pueden emitir radiación visible y/o invisible a niveles que no sobrepasen los LEAs especificados en la Tabla IV de la Norma CEI.

Los láseres continuos no pueden sobrepasar los 0,5 W y la exposición radiante de los láseres pulsados debe ser menor de $105 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$.

NOTA: La visión directa del haz es siempre peligrosa. La visión de radiación láser pulsada desenfocada por reflexión difusa no es peligrosa y, en ciertas condiciones, los haces láser continuos pueden verse sin ningún peligro mediante un reflector difuso.

Estas condiciones son las siguientes: distancia mínima de 13 cm y tiempo máximo de 10 s.

Clase 4

Son láseres de gran potencia, cuya potencia de salida sobrepase los LEAs especificados para la Clase 3B.

NOTA: Los láseres visibles e IR-A de la Clase 4 pueden producir reflexiones difusas peligrosas. Pueden causar lesiones en la piel y constituir peligro de incendio. Su uso requiere una precaución extrema.

El proceso de clasificación de un láser es competencia directa del fabricante, pero si el sistema se modifica con cualquier accesorio, el láser debe ser clasificado de nuevo.

Para ilustrar gráficamente la relación entre unas y otras clases, se expone en la figura 4 la clasificación para láseres de emisión continua dada por el Bureau of Radiological Health (BRH) en 1978).

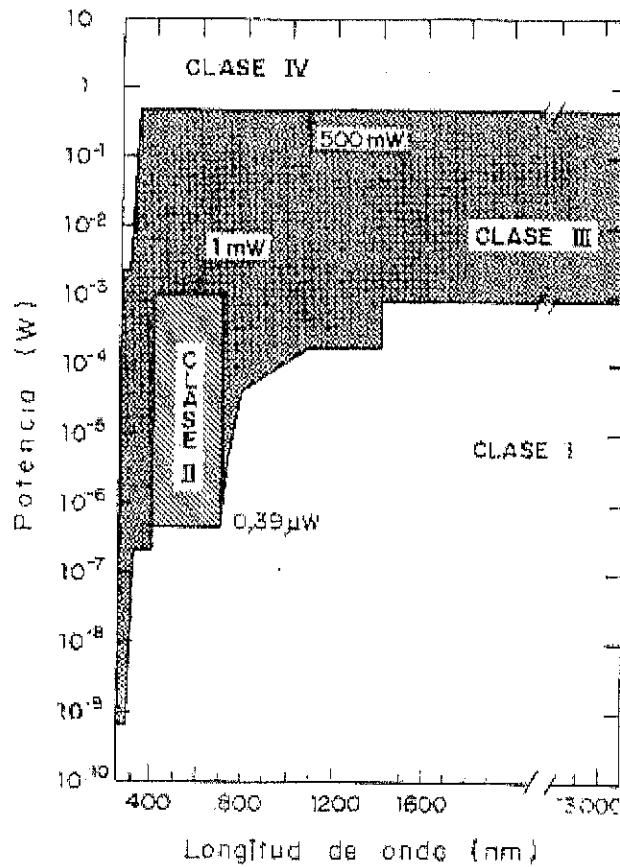


Fig. 4: Clasificación de láseres de emisión continua del BRH en 1978

Etiquetado

Cada sistema láser deberá llevar de forma permanente y en lugar visible una o más etiquetas de aviso, según la Clase o grupo de riesgo al que pertenezca.

Junto con la señal triangular de advertencia con el símbolo de peligro por radiación láser, cada equipo llevará en lugar visible otras etiquetas rectangulares con frases de advertencia que permitirán al usuario conocer el potencial riesgo al que se expone, y cómo evitarlo.

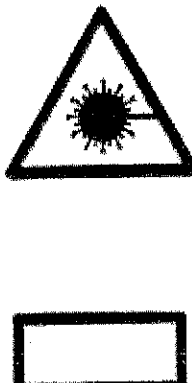
	CLASE 1	PRODUCTO LASER CLASE 1
	CLASE 2	RADIACION LASER. NO MANTENGA LA VISTA EN EL HAZ. PRODUCTO LASER CLASE 2.
	CLASE 3A	RADIACION LASER. NO MANTENGA LA VISTA EN EL HAZ NI LO MIRE DIRECTAMENTE CON INSTRUMENTOS OPTICOS. PRODUCTO LASER CLASE 3A.
	CLASE 3B	RADIACION LASER. EVITE LA EXPOSICION AL HAZ. PRODUCTO LASER CLASE 3B.
	CLASE 4	RADIACION LASER. EVITE LA EXPOSICION OCULAR O LA PIEL A RADIACIONES DIRECTAS O DIFUSAS. PRODUCTO LASER CLASE 4.
	ABERTURA LASER	EVITAR LA EXPOSICION. SE EMITE RADIACION LASER POR ESTA ABERTURA.
PANELES DE ENCLAVAMIENTO	PRECAUCION, RADIACION LASER EN CASO DE APERTURA Y DESACTIVACION DE BLOQUEOS DE SEGURIDAD.	

Fig. 5: Etiquetas y frases normalizadas según CEI-825 para los riesgos láser

Cada producto láser (excepto los de la Clase 1) deberá describirse en una etiqueta explicativa citando la potencia máxima de la radiación, la duración del impulso (si procede) y la longitud o las longitudes de onda emitidas.

Si la longitud de onda del láser **no** está entre 400 y 700 nm, se modificará el texto para que diga "Radiación láser invisible", si el láser emite a la vez radiación visible e invisible, se hará constar igualmente en la etiqueta.

La norma CEI-825 fija también requisitos de información a los fabricantes, que deben proporcionar al usuario un manual de instrucciones para el montaje, mantenimiento y utilización de un modo seguro, incluyendo las precauciones que hay que tomar para evitar exposiciones a radiaciones láser peligrosas en condiciones normales o accidentalmente.

Medidas de control

La utilización segura de los equipos láser exige que la seguridad esté integrada en el diseño de los mismos. Las exigencias de seguridad varían según la clase a que pertenezca el láser y están dirigidas a reducir el nivel de exposición del usuario hasta la EMP aplicable a cada caso, y a protegerlo de los otros riesgos inherentes a su utilización, por ello sólo es necesario adoptar medidas de control hasta que se alcance el nivel de EMP aplicable o un nivel inferior.

La EMP no es un valor fijo sino que depende de múltiples factores, entre ellos la longitud o longitudes de onda de emisión, posible efecto aditivo, tiempo de exposición, tipo de emisión (continua, de impulsos o repetitivamente pulsada), tipo de exposición ocular (directa, por reflexión difusa, fuente extensa), exposición de la piel, etc. Para su cálculo remitimos a la norma CEI-825, Sección 3, punto 13.

Un láser debidamente clasificado y etiquetado, complementado con un manual de instrucciones donde se describan los métodos de trabajo y precauciones de seguridad, debe proporcionar al usuario la información necesaria para proteger el potencial riesgo aplicando los controles apropiados para cada clase especificados en la norma CEI 825.

Las medidas de control pueden dividirse en tres grupos:

Controles técnicos

Se aplican sobre el láser; podemos citar entre otros la utilización de una carcasa protectora, conectores de enclavamiento a distancia, llave de control, obturador o atenuador del haz, señales de aviso, indicadores de emisión visibles o audibles, recintos cerrados o áreas acotadas, confinamiento de los haces, etc.

Controles administrativos

Se aplican sobre el ambiente en que se utiliza el láser, cuando no son suficientes los controles técnicos. Podemos citar entre otros la designación de un responsable de seguridad láser, la limitación en el uso de los láseres, la formación de los usuarios, las etiquetas y señales de aviso, la limitación de entrada a personas autorizadas, etc.

Protección personal

Debe reducirse al mínimo mediante la adopción de controles técnicos y administrativos. No obstante, las personas expuestas a radiaciones láser potencialmente peligrosas (Clase 3B y 4) deben utilizar la protección personal adecuada, en este caso gafas y/o ropa protectora.

NOTA: Durante la redacción de esta NTP, se ha votado afirmativamente la norma europea EN 60 825, basada en la norma CEI 825 1ª ed. (1984) más la 1ª enmienda y las modificaciones comunes del CENELEC. La EN 825 será anunciada por los Estados miembros de la CE el 1.9.91, entrando en vigor el 1.3.92 (puede variar).

Bibliografía

(1) SLINEY, D. WOLBARSH, M.C
Safety with lasers and other optical sources
New York, Plenum Press, 1980

(2)CEI825
Radiation safety of laser products, equipment. classification, requirements and users guide
1984

(3)GOLDMAN et al.
Optical radiation, with particular reference to lasers, en SUESS M.J. "Nonionizing radiation protection"
WHO 1982. WHO Regional Publications, European Series nº10

(4) SLINEY, D

Laser Safety, en WEBER, M.J. ed., "Handbook of laser science and technology", vol. 1.
CRC Press, 1982

(5) RUPÉREZ, MJ
El láser, riesgos y medidas preventivas, en "Radiaciones No Ionizantes. Prevención de Riesgos"
Madrid, INSHT, 1988