

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

MANUAL DE SEGURIDAD DE LASERES

Agosto 2003

Contenido

Introducción	3
Sección 1: Organización y Responsabilidades.....	4
1.1 Del Decano de la Facultad.....	4
1.2 Secretario responsable del área y Subsecretario de Hábitat	4
1.3 Servicio de Higiene y Seguridad.....	4
1.4 Comité de Seguridad y Subcomité de Seguridad de Radiaciones y Láseres	4
1.5 Directores de Departamentos, Centros, Institutos y Otras Facilidades de Uso Común.....	4
1.6 Investigador Responsable.....	4
1.7 Usuarios	5
1.8 Compras	5
1.9 Revisación medica	5
1.10 Autorización para uso de Láseres (AUL)	6
1.11 Auditorias.....	6
1.12 Formularios de equipamiento.....	6
Sección 2: Medidas de control de riesgo de láseres.....	7
2.1 Consideraciones generales	7
2.2 Medidas de control	7
2.3 Controles Técnico - Mecánicos.....	7
2.4 Controles Administrativos y de Procedimientos.....	9
2.5 Medidas de control especiales para radiación invisible	13
Section 3: ANSI Z136.1 Clasificación de Laseres.....	19
3.1 Clase 1.....	19
3.2 Clase 2 y 2a.....	19
3.3 Clase 3a y 3b.....	19
3.4 Clase 4.....	19
Typical Láser Classification - Continuous-Wave (CW) Lasers	20
Typical Láser Classification - Single Pulse Lasers	21
Maximum Permissible Exposure (MPE) for the Eye.....	22
Section 4: Non-Beam Hazards	23
4.1 Electrical Hazards	23
4.2 Fire Hazards.....	23
4.3 Explosion Hazards.....	23
4.4 Compressed Gases	23
4.5 Láser Dye and Solvents	23
4.6 Optical Radiation - (other than láser beam hazards).....	23
4.7 Industrial Hygiene Considerations	24
4.8 Ionizing Radiation	24
Section 5: Appendices.....	25
5.1 Láser Fundamentals	25
5.2 The Lasing Process	25
5.3 Types of Lasers	26
5.4 Biological Effects of Laser Radiation.....	27
5.5 Photosensitizing Agents.....	29
5.6 Glossary of Laser Terms - ANSI Z136.1-2000	30
5.7 Formularios para Uso de Láseres	35
Formulario para Autorización para Uso de Láseres	36
Laser Use Enrollment Application	38
Laser Use Authorization Amendment Application	40
Laser Safety Equipment Registration Application	42
Laser Safety Equipment Transfer Application	43
Referencias	44

MANUAL DE SEGURIDAD DE LASERES DE LA FCEN - UBA

Introducción

Este Manual de Seguridad para uso de láseres describe el programa de seguridad de la FCEN y es una guía para el uso seguro de láseres y sistemas de láseres. El uso seguro de láseres puede lograrse siguiendo los estándares reconocidos, tales como el American National Standard for the Safe Use of Lasers (ANSI Z136.1 - 2000). Estos estándares son descriptos y desarrollados en este manual.

Este manual también describe las responsabilidades y tareas del Decano, el Comité de Seguridad, El Subcomité de Seguridad en Radiaciones y Láseres, el Servicio de Higiene y Seguridad y de los usuarios autorizados, en lo que se refiere a los láseres que se operan en el ámbito de la FCEN. Este manual debe estar disponible para referencia para todos los usuarios de láseres. Es responsabilidad del Investigador Responsable mantener este manual para consulta. Todas las personas que utilicen láseres deben haberse familiarizado con el contenido y cumplir con los requerimientos de este manual.

Sección 1: Organización y Responsabilidades

1.1 Del Decano de la Facultad

El Decano de la Facultad delega en el Secretario responsable del área de Higiene y Seguridad la responsabilidad administrativa de los programas de protección para el uso de láseres.

1.2 Secretario responsable del área y Subsecretario de Hábitat

El secretario responsable del área de higiene y seguridad y el subsecretario de hábitat supervisan las actividades del Servicio de Higiene y Seguridad.

1.3 Servicio de Higiene y Seguridad

El Director del Servicio de Higiene y Seguridad (SHyS) reporta administrativamente al Subsecretario de Hábitat, si bien mantiene la independencia de gestión que resulte de las atribuciones que le asigna la legislación vigente. El Servicio de Higiene y Seguridad será responsable de la supervisión del uso de láseres y proveerá asistencia, servicios de seguridad de láser y guía de acuerdo con las políticas y standard establecidos en este manual, las reglamentaciones vigentes y los estándares de seguridad de láseres nacionales. El SHyS será responsable de revisar las políticas de la FCEN sobre seguridad de láseres y de informar al Decano y al CS sobre asuntos que conciernan a la seguridad de láseres. El SHyS recibirá y revisará los informes y registros pertinentes relacionados con las actividades de uso de láseres.

1.4 Comité de Seguridad y Subcomité de Seguridad de Radiaciones y Láseres

El Comité de Seguridad (CS) supervisa los programas de seguridad química, biológica y radiológica. El Subcomité de Seguridad de Radiaciones y Láseres (SCSRL) es responsable de supervisar los programas de seguridad en el uso de radiaciones y láseres, asesora al CS sobre todas las cuestiones relacionadas con la seguridad de radiaciones y láseres; y recomienda las políticas y procedimientos que le parezcan mas apropiados para asegurar un programa de seguridad de láseres apropiado.

El Comité de Seguridad será el ultimo agente de revisión y autorización para el uso de cualquier láser. Dictara las políticas y establecerá las reglamentaciones que serán monitoreadas por el SHyS. El Subcomité de Seguridad de Radiaciones y Láseres (SCSRL) estará presidido por el Oficial de Seguridad de Láseres (OSL), que será miembro del SHyS. Los restantes miembros del Subcomité podrán ser docentes – investigadores.

El OSL es responsable de la operación del programa de seguridad de láseres, de asegurar que el uso de láseres este de acuerdo con las políticas de la FCEN en conformidad con los estándares nacionales y de elevar las cuestiones pertinentes al SCSRL para su revisión y aprobación.

Las responsabilidades del OSL incluyen:

- aconsejar con conocimiento sobre y evaluar riesgos de accidentes de láseres, evaluar procedimientos de seguridad de láseres escritos o Procedimientos de Operación Estándares.
- asistir al Director del SHyS para suspender, restringir o cancelar la operación de un sistema láser si considera que los controles de accidentes del mismo son inadecuados.
- asegurar el mantenimiento de los registros necesarios, incluyendo los controles médicos, requeridos por los estándares gubernamentales aplicables.
- clasificar o verificar la clasificación de láseres, o sistemas de láseres modificados.
- inspeccionar y auditar: set-ups de investigación y enseñanza que involucren el uso de láseres con la frecuencia que se determine necesaria, sin que esta pueda ser menor que anual.
- asegurar que se provea entrenamiento de seguridad adecuado al personal, estudiantes y otras personas que utilicen láseres Clase 3b y Clase 4 y sistemas de láseres. El OSL llevara registros de cada persona, indicando que se proveyó el entrenamiento adecuado.
- investigar cualquier accidente real o presunto o incidentes originados en la operación de láseres e iniciar las acciones apropiadas en conjunto con personal de Medicina Laboral.

1.5 Directores de Departamentos, Centros, Institutos y Otras Facilidades de Uso Común

Los directores son responsables de supervisar que los laboratorios de docencia e investigación donde se utilizan láseres hayan completado su Plan de Protección y en particular los requisitos que se aplican para el suso de láserse 3b y 4.

1.6 Investigador Resonsable

El investigador responsable (IR) es responsable de cumplir con los reglamentos de la FCEN y las regulaciones nacionales que correspondan a los láseres cuyo uso le fue autorizado, o cualquier uso que este bajo su supervisión. Las responsabilidades especificas incluyen:

- entrenamiento específico para el uso de láseres: el IR proveerá o coordinará el entrenamiento sobre seguridad y

control de riesgos para todo el personal que trabaje con láseres bajo su supervisión. Este entrenamiento incluirá familiarizar al personal y a los visitantes con las normas de seguridad de laboratorios, las secciones relevantes de los correspondientes estándares ANSI y el Plan de Protección para Uso de Láseres de cada sistema de láseres utilizado. Este entrenamiento será certificado. El IR guardará copia de esta certificación y elevará copia de la misma al OSL.

- elaboración de un Plan de Protección para Uso de Láseres escrito, incluyendo toda la información pertinente relacionada con sus usos de láseres y medidas de seguridad, y lo elevará al SHyS para su revisión y aprobación.
- garantizar que solo aquellos procedimientos descritos en el Plan de Seguridad de Láser y aprobados por el SHyS sean llevados a cabo.
- notificar al SHyS de planes de modificación de equipos de láseres que potencialmente puedan agregar riesgos de accidente de láseres.
- notificar por escrito al SHyS cuando un IR tome una licencia extendida de sus responsabilidades por los láseres utilizados bajo su control. En la notificación se designará un responsable para las operaciones de láseres durante la ausencia del IR. El IR también tendrá la opción de designar un gerente de laboratorio para los sistemas de láser, que será la persona de contacto con el SHyS.
- garantizar que el personal que utilice láseres clase 3b o clase 4 lleven a cabo exámenes de vista de acuerdo a los protocolos establecidos en ANSI Z136, 1-2000 en las siguientes instancias descritas en la sección 1, 1.9
 - Antes de iniciar su participación en el trabajo con láseres.
 - Después de completar el trabajo con láseres o al dejar de trabajar en la FCEN.
 - Inmediatamente después de un presunto daño ocular producido por un láser.
- realizar inspecciones periódicas de los lugares de trabajo autorizados para asegurar el cumplimiento de con los lineamientos impuestos por el Plan de Protección para Uso de Láseres y los requerimientos generales de seguridad.
- no permitir en ningún momento la operación de un láser a menos que haya un adecuado control de riesgos para los investigadores, visitantes y otros.
- asegurar que todos los visitantes hayan recibido la instrucción apropiada en seguridad de láseres y que hayan recibido el equipo de protección adecuado.
- asegurar que cualquier trabajo de mantenimiento o reparación sea realizado por personal entrenado y certificado.
- cuando sepa o sospeche que ha ocurrido un accidente producido por un láser operado bajo su supervisión tiene la obligación de cortar la operación del láser, asegurarse de que el láser esté apagado, notificar inmediatamente al SHyS y ayudar en la obtención de atención médica apropiada para la persona involucrada. También preservará sin modificaciones la escena del accidente (ver sección 2.4, Procedimientos de emergencia).

1.7 Usuarios

Todos los usuarios de láseres autorizados son responsables de:

- cumplir con los procedimientos descritos en los Planes de Protección para Uso de Láseres y las normas de seguridad, es decir, utilizar el equipamiento de protección recomendado.
- mantener condiciones de hábitat adecuadas en el laboratorio para prevenir potenciales accidentes.
- reportar inmediatamente los detalles de cualquier accidente que involucre láseres al IR y al SHyS.
- cumplir todos los requerimientos de seguridad del laboratorio estipulados por el ip responsable del uso del láser.

1.8 Compras

Cada Investigador responsable deberá notificar al SHyS de cualquier orden de compra de láseres. Están excluidos de esta disposición impresoras láser, lectoras de códigos de barras y punteros láser.

1.9 Revisación médica

Se requiere revisión médica para todos los usuarios de láseres Clase 3b y Clase 4 para proveer una línea de base contra la cual se pueda contrastar el daño (primariamente ocular) en el caso eventual de un daño accidental, y para identificar aquellos individuos que pueden estar bajo riesgos a la exposición crónica de determinados láseres CW. Los científicos visitantes y otros visitantes deberán cumplir con los requisitos de la revisión médica si el uso de láseres por su parte excederá las 2 semanas en las instalaciones de la FCEN. Las revisiones médicas de salida serán realizadas antes de dejar la FCEN.

Los operadores de láseres Clase 3b y Clase 4 deberán tener, al menos, una revisión de línea de base en los siguientes aspectos, tal como se especifica en ANSI Z136, 1

- historia ocular
- agudeza visual
- función macular
- visión de color
- fondo de ojo con un oftalmoscopio
- piel

Las revelaciones oftalmológicas descritas arriba podrán ser realizadas en a través del Personal de Medicina Laboral o de la ART.

Cualquier individuo con un daño ocular conocido o sospechado deberá ser derivado inmediatamente a un oftalmólogo. Las personas con daños en la piel deberán ser atendidos por un médico. Es responsabilidad del IR contactar al SHyS y completar el formulario de denuncia en el caso de un incidente.

1.10 Autorización para uso de Láseres (AUL)

Cada IR presentará un pedido de AUL al SHyS que deberá ser refrendado por el Director de Departamento o equivalente. Todo el personal involucrado en la AUL debe presentar un formulario de “pedido de autorización para uso de láseres”. La AUL puede ser modificada luego de su aprobación inicial. La AUL deberá ser renovada cada año después de su aprobación. Las renovaciones serán aprobadas por el SHyS con el asesoramiento del SCSLR. Parte del proceso de renovación será una inspección del laboratorio sobre aspectos específicos y los resultados de la auditoria serán discutidos con el IR y todos los usuarios autorizados.

Una AUL permanecerá activa durante una licencia del IR siempre que un usuario autorizado sea designado como contacto del laboratorio.

Una AUL no podrá permanecer inactiva por mas de un año. Una reactivación dentro del año será considerada como una modificación. Si una AUL permanece inactiva por mas de un año será cancelada. Un laboratorio que no tenga una AUL activa no podrá encender ningún láser clase 3b o clase 4 sin un pedido previo de inspección, y posterior aprobación por el SHyS.

1.11 Auditorias

El SHyS llevará a cabo auditorias periódicas de todas las actividades y áreas que tengan autorización para uso de láseres. La frecuencia de estas auditorias será anual, con un seguimiento de 30 días para cualquier deficiencia de laboratorios u otros problemas que requieran alguna acción correctiva. Podrán llevarse a cabo auditorias adicionales si el SHyS o el IR lo consideran necesario.

1.12 Formularios de equipamiento

Todos los láseres de clase 3b o clase 4 dentro de la jurisdicción de la FCEN deben estar registrados en el SHyS a través de un formulario de registro de equipo. Cualquier láser Clase 3b o clase 4 NUEVO debe ser registrado antes de ser utilizado (ver 5.7)

Sección 2: Medidas de control de riesgo de láseres

2.1 Consideraciones generales

Deben diseñarse medidas de control para reducir la posibilidad de exposición de ojos y piel a niveles de radiación riesgosos, así como de otros riesgos asociados con la operación de láseres durante su uso normal y mantenimiento.

El SHyS tendrá autoridad para evaluar, monitorear y ejecutar el control de riesgos de láser.

La estadística de los incidentes reportados ha demostrado que los accidentes en los ojos y/o la piel por exposición a la radiación de un láser, y los accidentes asociados a riesgos de láseres o sistemas de láseres están mas frecuentemente correlacionados con personas que operan este tipo de sistemas en las siguientes condiciones:

- exposición imprevista de los ojos durante la alineación del sistema
- sistemas ópticos mal alineados
- falta de uso de protección para los ojos.
- mal funcionamiento del equipo
- métodos inadecuados de manejar altas tensiones.
- exposición inintencionada de personas sin protección
- operadores no familiarizados con el equipo láser
- falta de protección para riesgos auxiliares

2.2 Medidas de control

Las medidas de control pueden ser divididas en las siguientes categorías

- tecnico-mecanicas (i.e., carcazas, interruptores, beam stops, etc.).
- administrativas y de procedimiento (i.e., LSP/SOP, señales de seguridad, protección ocular, entrenamiento,etc).

2.3 Controles Técnico - Mecánicos

Gabinetes protectores

Se requieren para cualquier clase de láser. En algunos casos, la operación de un láser o sistema de láseres sin una carcaza puede ser necesaria. En tales casos el SHyS llevará a cabo un análisis de riesgos y se asegurará que sean utilizados otros métodos de control.

Interruptores de los gabinetes protectores

Los láseres de clase 3b y clase 4 deben tener un gabinete protector con interruptor, que se activa al quitarse el gabinete para la operación y mantenimiento. El interruptor esta diseñado para prevenir el acceso al haz por encima de la "máxima exposición permitida" (MEP) aplicable en cada caso.

Panel de acceso para service

Este panel permite el acceso a láseres de clase 3b y 4 y solo deben ser quitados para propósitos de reparación por personal técnico autorizado. Estos paneles deben estar conectados a un interruptor o bien requerir una herramienta especial para su remoción. Una etiqueta advirtiendo el riesgo de láser pertinente debe estar pegada al panel.

Llaves de control

Unicamente un supervisor apropiado o un operador autorizado del láser tendrá la llave o el código que habilite la operación del láser. Esta llave maestra debe deshabilitarse cuando se deja de utilizar el láser.

Ventanas de visualización

Todas las ventanas de visualización y pantallas con displays difusores que formen parte de un láser deben estar provistos de medios apropiados (tales como interruptores, filtros, atenuadores, etc.) para mantener la radiación transmitida por debajo de la MEP correspondiente.

Optica colectora

Toda la óptica colectora (lentes, telescopios, microscopios, etc) utilizada para visualización en un láser o sistema de láseres debe estar provista de medios apropiados (tales como interruptores, filtros, atenuadores, etc.) para mantener la radiación transmitida por debajo de la MEP correspondiente.

Camino de rayos totalmente abiertos y parcialmente abiertos

En los casos de láseres clase 3b y clase 4 donde el haz láser está total o parcialmente expuesto, el SHyS llevará a cabo un análisis de riesgos láser para establecer la Zona Nominal de Riesgo (ZNR) si esta no está provista por el fabricante.

Los láseres de alta potencia y los sistemas de láseres requieren medidas de control más restrictivas debido al riesgo obvio de daño proveniente del haz directo o de reflexiones especulares. Sin embargo, existe un riesgo mayor generado por la reflexión difusa a lo largo de todo el camino del haz, que debe ser controlado.

Conector para interruptor remoto

Un sistema de láseres de clase 3b o clase 4 deben estar provistos de un conector para interruptor remoto. Estos interruptores habilitan la conexión eléctrica a una llave maestra de emergencia. Cuando los terminales del conector están a circuito abierto, la radiación emitida no debe exceder los niveles de MEP adecuados.

Atenuador o beam stop

Un láser clase 3b o clase 4 debe estar equipado con un atenuador o un beam stop asegurado permanentemente. El atenuador o beam stop debe ser capaz de atenuar la radiación que exceda el nivel de MEP correspondiente. En algunos casos, tales como en momentos de service, cuando el atenuador o el beam stop están colocados sobre la apertura del haz, y la radiación del láser está por debajo de la MEP aplicable, el SHyS puede determinar que no es necesario utilizar protección ocular para láseres.

Sistema de alarma de activación

Los sistemas de alarma de activación incluyen sonidos audibles (timbres o chicharras), luces de alarma, cuentas regresivas verbales, todos los cuales notifican al personal que el láser está por ser activado o desactivado.

Retardo en la emisión

El sistema de alarma de activación debe tener un retardo antes de activar la emisión, lo que permite al operador un tiempo suficiente para controlar la exposición a la radiación del láser antes de la activación del mismo.

Áreas cerradas controladas

Un análisis que incluya la determinación de la ZNR será llevado a cabo por el SHyS. Si el análisis determina que la clasificación del láser es 3b o 4, se establecerá una zona controlada y se instituirán medidas de control apropiadas.

Áreas cerradas controladas para láseres clase 3b

Los láseres de clase 3b deben ser utilizados en áreas donde el ingreso de personal no autorizado pueda ser controlado. La entrada de personal no entrenado en seguridad de láseres en un área controlada puede ser permitida por el operador del láser si dichas personas son alertadas de los procedimientos de seguridad y son provistas de los anteojos protectores requeridos. Es responsabilidad del IR supervisar a todo el personal no entrenado en el área controlada.

Las siguientes medidas de control son obligatorias para láseres clase 3b y recomendadas para láseres clase 3a:

- Entrenamiento: todas las personas que utilicen láseres de clase 3b deben asistir a un seminario general de seguridad de láseres a cargo del SHyS, además del entrenamiento específico provisto por el IR o el fabricante.
- controles técnico - mecánicos: se dará prioridad a la incorporación de mecanismos de seguridad apropiados (obturadores, interruptores, gabinetes, beam stops, sistemas de "agrandamiento" de haces, etc) como una parte integral del sistema láser.
- área controlada: solo el personal autorizado puede operar estos sistemas de láseres. No se permitirán espectadores dentro del área controlada a menos que se cuente con autorización del OSL y que se hayan tomado medidas de protección. Si el haz láser no está tapado, debe darse especial énfasis al control del camino del haz.
- alineación: la alineación de un láser clase 3 debe ser realizada de manera tal de que el rayo principal o su reflexión especular no exponga al ojo a niveles de radiación por encima de la MEP.

- elementos ópticos visualizadores: se deberá tener especial cuidado cuando se utilicen sistemas ópticos tales como lentes, telescopios o microscopios. Filtros o interruptores deben ser provistos para evitar la exposición ocular por encima de la MEP.
- etiquetado del equipo: los láseres clase 3 deben tener una etiqueta de advertencia con el texto apropiado adherida en un lugar donde sea fácilmente visible sobre la carcasa.
- interruptores de llaves maestras: los láseres de clase 3 deben estar provistos de un interruptor de llave maestra o un switch. La llave debe ser removible y el láser no debe ser operable cuando la llave es quitada. La llave debe quitarse cuando el láser no está siendo utilizado o no está siendo vigilado. La llave debe ser guardada por el ip o por el usuario autorizado del láser.

Áreas cerradas controladas para láseres clase 4

Los láseres de alta potencia requieren medidas de control más rígidas no solo porque el riesgo de daño por el haz directo o reflejado especularmente es mayor, sino también porque existe un riesgo mayor de daño por reflexiones difusas accidentales. La totalidad del camino del haz capaz de producir reflexiones difusas peligrosas debe ser controlada. Todas las medidas de control deben tenerse en cuenta cuando se trabaja con un láser o sistema de láseres de clase 4.

Además de las medidas de control señaladas más arriba para láseres clase 3b, las siguientes medidas de control deben aplicarse para láseres de clase 4.

- Área controlada: los láseres de clase 4 deben estar ópticamente aislados en un área diseñada exclusivamente para la operación del láser y el acceso a esas áreas requiere autorización adecuada.
- Interruptores: interruptores de seguridad deben ser utilizados para desactivar el láser en caso de la entrada inesperada de una persona dentro del área de operación del láser. El diseño de los interruptores debe ser tal que permita tanto la salida rápida del personal operador del láser como el ingreso bajo condiciones de emergencia. La persona a cargo de la zona controlada debe tener la posibilidad de inhabilitar el interruptor de acceso a la habitación, lo cual no permitirá la alimentación automática de la fuente, pero estará diseñado de modo tal de que la fuente de alimentación del obturador debe ser reseteada manualmente. Un switch de control de desconexión ("panic button") debe estar disponible para desactivar el láser.

Áreas externas controladas para uso de láseres

Todos los láseres clase 3b y clase 4 destinados para ser conectados en áreas exteriores para entretenimiento o uso científico deben ser inspeccionados y aprobados por el SHyS antes de su primer uso. La documentación adecuada indicando el permiso para operar los láseres en el exterior, dentro del campus de la Ciudad Universitaria, debe ser presentada antes del uso inicial a SHyS.

El área controlada debe estar diseñada para prevenir cualquier dispersión o reflexión de la radiación del láser escape de la zona. El camino del haz debe ser establecido de modo tal que sea inaccesible a la audiencia y peatones. Las fuentes de alimentación y los cables también deben ser asegurados para evitar que alguien tropiece u otros accidentes.

2.4 Controles Administrativos y de Procedimientos

Controles de Procedimientos standard de operación

Cada láser o sistema de láseres tendrá un Plan de Protección de Seguridad del Láser o un Procedimiento Operativo Standard que deberá estar disponible para todos los individuos involucrados en el uso del láser. Estos planes deben ser guardados cerca del láser o el sistema de láseres, para referencia del operador y el personal de service. Deben contener como mínimo:

- Nombre del IR responsable del láser o sistema de láseres
- Lista de los usuarios autorizados con documentación de su entrenamiento
- Lista de números de emergencia.
- Descripción de las características de seguridad.
- Una descripción completa del equipo de protección que debe ser utilizado por todos los operadores de láseres o sistemas de láseres.
- Procedimientos específicos de operación desde el encendido hasta el apagado (presentados por el IR para la aprobación por el SHyS).
- Procedimientos específicos de alineación, si aplican (presentados por el IR y aprobados por el SHyS).
- Un listado de chequeo (checklist) de seguridad, ya sea provisto con el equipo o generado por el IR
- Instrucciones de emergencia.

Limitaciones para la emisión de salida

Si en opinión del SHyS la radiación emitida por el láser o el sistema de láseres es excesiva durante la operación normal, el SHyS tomara las medidas apropiadas para reducir el nivel de potencia que sea adecuado para la aplicación requerida.

Instrucción y entrenamiento

Se proveerá instrucción y entrenamiento para los operadores, personal de mantenimiento y de service de láseres clase 3b y 4. Se proveerá también entrenamiento para operadores y personal de mantenimiento y service que trabajen con láseres clase 1, 2 y 3a que incluyan láseres clase 3b o 4. El entrenamiento será provisto por el SHyS y será obligatorio para todos aquellos que operen un láser clase 3b o clase 4. Los siguientes tópicos deben ser cubiertos en el entrenamiento provisto por SHyS.

- Fundamentos de la operación de láseres
- clasificación de láseres
- Efectos biológicos de la radiación de láseres.
- Riesgos de láseres: directos e indirectos.
- Medidas de control

El IR deberá proveer entrenamiento suplementario específico para el láser bajo uso. El fabricante del láser deberá proveer información de entrenamiento para el láser específico. Se sugiere que los operadores de láseres 3b y 4 tengan un entrenamiento de repaso.

Personal autorizado

Los láseres de clase 3b y clase 4 deben ser operados, mantenidos y reparados solo por personal autorizado cuyo listado se encuentra en el laboratorio o por representantes autorizados del fabricante.

Procedimientos de alineación

La alineación de sistemas ópticos en láseres de clase 2, 3a, 3b, 4 deben ser llevados a cabo de manera tal que el haz primario, el especular y las reflexiones difusas no expongan los ojos a radiaciones por encima de la MEP aplicable. El uso de láseres visibles de baja potencia para la simulación de caminos de haz de láseres de alta potencia esta recomendado durante la alineación.

Equipo de protección

Anteojos de protección

Todos los anteojos de protección de láseres deben estar claramente etiquetados con los valores de densidad óptica y rango de longitud de onda. La densidad óptica adecuada para la longitud de onda de interés debe ser ponderada con la necesidad de una adecuada transmisión para visibilidad. Deben realizarse inspecciones periódicas del los anteojos protectores para asegurarse de que las rayaduras, perforaciones, etc no resulten un peligro para el usuario. El marco de los anteojos protectores también debe ser inspeccionado para detectar posibles fallas de integridad mecánica y pérdidas de luz. Son consideraciones importantes para determinar los anteojos de protección adecuados:

- longitud de onda de salida del láser
- potencial operación en longitudes de onda múltiples
- densidad óptica.
- transmisión en el rango visible
- visión periférica
- necesidad de lentes con corrección óptica.
- degradación del medio absorbente, tal como photo-bleaching.
- capacidad de la superficie frontal de producir reflexiones especulares
- exposición a la radiación o irradiancia y el correspondiente tiempo característico para el cual los anteojos protectores son dañados, incluyendo bleaching transitorio.
- fortaleza de los materiales (resistentes al impacto).
- confort y calce adecuado.

Si es necesario el SHyS, y diversas compañías ópticas, pueden aconsejar sobre la elección de anteojos protectores.

Protección para la piel

Puede ser necesario utilizar protección para la piel si el personal puede estar expuesto en forma crónica a radiación ultravioleta dispersa, tal como en el caso de aplicaciones de láser de excímero, o estar expuesto en forma aguda a niveles mayores que la MEP para la piel. Guantes de cuero, delantales y casacas se consideran generalmente como la protección más adecuada para la exposición UV. El nylon es muy poco efectivo ya que presenta una transmisión entre el 20% y el 40%. Es importante notar esto ya que muchos de los guardapolvos de laboratorio tienen una importante componente de nylon. La luz del láser puede ser atenuada con el uso de varias capas de ropa.

Los usuarios de láseres clase 4 deben utilizar ropa de materiales resistentes al fuego y a la radiación UV.

Espectadores

Los espectadores o visitantes no deberían ser autorizados a ingresar dentro de las áreas controladas cuando contengan un láser o un sistema de láseres clase 3b, y no deben autorizarse espectadores dentro de una zona controlada que contenga un láser clase 4, a menos que:

- se haya obtenido la aprobación apropiada del supervisor
- el grado de riesgo y la forma de evitarlo haya sido explicado
- se hayan tomado las medidas protectoras adecuadas.

Personal de service

Todo el personal que requiera acceso a láseres de clase 3b o clase 4 encerrados dentro de una carcasa protectora o un área protectora deben cumplir con las medidas de control de los láseres contenidos en las mismas. El SHyS requerirá que el personal de service tenga el entrenamiento de seguridad adecuado y la formación acorde con la clase de láser o sistema de láseres.

Fibras ópticas

Los sistemas de láseres que emplean cableado óptico serán considerados sistemas cerrados del cual el cableado óptico forma parte. Si se produce una desconexión y la radiación láser resultante es menor que la MEP aplicable, la conexión o desconexión puede hacerse en un área no controlada. La desconexión o conexión deberá hacerse en un área controlada adecuada durante la operación si la radiación supera la MEP aplicable.

Ventanas protectoras

Las ventanas (exteriores o interiores) que estén ubicadas dentro de una ZRC de un láser clase 3b o clase 4 deben tener un material absorbente, un filtro dispersivo, una barrera bloqueadora o pantalla que reduzca la radiación del láser a niveles menores que la MEP aplicable.

Barreras protectoras y cortinas

Una barrera bloqueadora, pantalla o cortina que pueda bloquear o filtrar la radiación del láser debe ser utilizada dentro del área controlada para prevenir que el haz salga fuera del área con una intensidad mayor que la MEP aplicable. Es importante considerar el factor de inflamabilidad y la descomposición del material de la barrera. Es crítico que las barreras no contengan materiales combustibles o liberen gases tóxicos durante o después de una exposición a la radiación del láser.

Equipo protector adicional

Respiradores, extinguidores de incendio, sistemas de ventilación locales adicionales y protección auditiva pueden ser necesarios cuando los controles técnico - mecánicos no puedan proveer protección para riesgos accesorios.

Carteles de advertencia y etiquetas

Los carteles de advertencia de láseres y etiquetas deben estar de acuerdo en las dimensiones, tamaño de letra, color, etc con el American National Standard Specification for Accident Prevention Signs (ANSI Z535). Las señales y las etiquetas que hayan sido hechas de acuerdo a estándares previos serán consideradas como cumpliendo los requerimientos del standard.

Carteles de advertencia:

(ver figuras de referencia)

Todas las entradas a un área controlada deben tener un cartel adecuado pegado en un idioma apropiado indicando el riesgo potencial dentro del área. La información pertinente en los carteles puede estar impresa o escrita a mano de manera legible, y debe incluir:

- la palabra PELIGRO debe ser usada en todos los carteles y etiquetas asociadas con láseres clase 3a, 3b y 4.
- la palabra ADVERTENCIA (Notice) debe ser utilizada en los carteles pegados fuera de un área controlada temporaria, por ejemplo durante periodos de service.
- en la posición 1 encima del rayo del sol deben colocarse las medidas de precaución especiales o acción de protección que puedan ser de aplicación.:
 1. Se requiere el uso de anteojos de protección.
 2. radiación láser invisible
 3. Toque antes de entrar
 4. no entre si la luz esta encendida
 5. área restringida
- en la posición 2 debajo del rayo del sol, debe verse el tipo de láser (Nd:YAG; Helio-Neon, etc), o la longitud de onda emitida, duración del pulso (si es apropiado), y la máxima potencia de salida.
- en la posición 3, la clase de láser o sistema de láseres.

Etiquetas de advertencia

Todas las etiquetas de advertencia del equipo deben estar expuestas en un lugar notorio del equipo donde resulten una mejor advertencia para el personal.

- en la posición 1 encima del rayo del sol, deben estar las instrucciones precautorias:
 1. Para todos los láseres clase 3b, "Radiación láser - Evite la exposición directa de los ojos al haz".
 2. Para todos los láseres clase 4, "Radiación láser - Evite la exposición de ojos y piel a la radiación directa o dispersa".
- en la posición 2 y 3, el lenguaje será igual o similar al de los carteles de advertencia.

Procedimientos de emergencia

Un letrero con procedimientos de emergencia que deben seguirse en caso de accidente o daño debe estar expuesto en zonas donde sea visible.

En caso de un accidente por láser, proceda de la siguiente manera:

1. apague el láser o el sistema de láseres
2. ocúpese de la seguridad del personal (primeros auxilios, evacuación, etc.) Si es necesario, solicite o procure asistencia medica adicional:

Daño ocular: si se sospecha de la existencia de daño ocular, haga que la persona lastimada mantenga la cabeza derecha y quieta para evitar cualquier sangrado en el ojo.

Los daños oculares deben ser evaluados por un medico tan pronto como sea posible.

1. En caso de ser necesario, llame a la oficina de Seguridad y Control (int 311)
2. Informe al IR del accidente tan pronto como sea posible.
3. Comuníquese con la oficina de personal para realizar el Reclamo a la ART
4. Informe al SHyS del accidente tan pronto como sea posible usando el formulario respectivo

Mantenimiento y reparación de láseres

Todo el mantenimiento y reparación de láseres debe ser realizado solo por individuos que puedan documentar entrenamiento y formación compatible con el láser en cuestión. El personal de reparación debe tomar las medidas de precaución apropiadas para garantizar su seguridad, así como la seguridad del personal del laboratorio y el publico general en las inmediaciones. Un cartel con la palabra "ADVERTENCIA", junto con el lenguaje y la información adecuados deben ser expuestos de una manera claramente visible fuera del área controlada durante el tiempo de servicio.

Modificaciones de sistemas de láseres

Cuando un IR considera necesario alterar un láser o un sistema de láseres y/o las medidas de control establecidas previamente, debe solicitar el cambio por escrito. Este pedido de modificación debe ser presentado al SHyS. La

aprobación de un cambio solo debe concederse cuando los instrumentos y/o medidas de seguridad hayan sido evaluadas y aprobadas por el SHyS.

Movimiento de equipo de láseres

Si hay necesidad de mover un láser a un lugar diferente dentro del laboratorio para un proyecto nuevo, un formulario de movimiento de equipo (ver 5.7) debe ser completado y enviado al SHyS antes del movimiento.

Si el nuevo emplazamiento no está en el laboratorio, un formulario de enmienda debe ser enviado para agregar la nueva ubicación en el laboratorio. Un formulario de transferencia de equipos también debe ser enviado al SHyS antes del movimiento del láser.

Láseres no operativos

En el caso de que un láser deba ser desechado o donado a un tercero, el láser debe ser desactivado en forma permanente (cortando el cable de alimentación). Si un láser necesita reparación, el SHyS debe ser contactado para que provea una etiqueta para que pueda ser pegada en un área no muy visible que indique que ese láser particular está fuera de servicio. Cuando el láser sea reparado, debe contactarse al SHyS para que retire la etiqueta antes de comenzar el uso.

2.5 Medidas de control especiales para radiación invisible

Dado que la radiación infrarroja y ultravioleta es invisible, se debe tener especial cuidado cuando se utilice este tipo de láseres. Además de las medidas de control, que correspondan a la clasificación del láser, también son aplicables los siguientes controles. Un haz visible apuntado de manera coaxial es deseable. Alarmas visibles y/o audibles deben activarse cuando el láser es activado.

Láseres infrarrojo: el haz de un láser clase 3b infrarrojo debe terminarse con un backstop altamente absorbente. Los haces de láseres Clase 4 debe estar terminados por un material resistente al fuego (nota: muchas superficies, que parecen visualmente opacas pueden ser reflectoras de radiación infrarroja).

Láseres ultravioletas: para minimizar la exposición a la radiación ultravioleta (UV) materiales protectores adecuados deben ser utilizados para atenuar los niveles de radiación por debajo de la MEP para la longitud de onda UV específica. Debe prestarse especial atención a la posibilidad de generar productos secundarios tales como ozono, y a la formación de agentes sensibilizantes de la piel. Gases tóxicos como F^2 , Cl^2 , NF^3 , etc., pueden ser producidos por el uso de láseres UV y se deben tomar precauciones para resguardarse cuando la radiación invisible de un láser clase 3b o clase 4 sea accesible. Carteles de advertencia y luces deben ser exhibidos en un lugar fácilmente visible advirtiendo a las personas en el área cuando se está operando el láser.

Engineering Control Measures for the Four Láser Classes
Table 10 from ANSI Z136.1 - 2000

Control Measures	Classification				
	1	2	3a	3b	4
Engineering Controls	1	2	3a	3b	4
Protective Housing	X	X	X	X	X
Without Protective Housing	OSL shall establish Alternative Control				
Interlocks on Protective Housing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	X
Service Access Panel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	X
Key Control	-	-	-	X NHZ	X NHZ
Viewing Portals	-	MPE	MPE	MPE	MPE
Collecting Optics	MPE	MPE	MPE	MPE	MPE
Totally Open Beam Path	-	-	-	X NHZ	X NHZ
Limited Open Beam Path	-	-	-	X NHZ	X NHZ
Enclosed Beam Path	None is required if 4.3.1. and 4.3.2. fulfilled in ANSI 136.1				
Remote Interlock Connector	-	-	-	<input type="checkbox"/>	X
Beam Stop or Attenuator	-	-	-	<input type="checkbox"/>	X
Activation Warning System	-	-	-	<input type="checkbox"/>	X
Emission Delay	-	-	-	-	X
Indoor Láser Controlled Area				X NHZ	X NHZ
Class 3b Indoor Láser Controlled Area	-	-	-	X	
Class 4 Láser Controlled Area	-	-	-	-	X
Láser Outdoor Controls	-	-	-	X NHZ	X NHZ
Láser in Navigable Airspace	-	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Temporary Láser Controlled Area	<input type="checkbox"/> MPE	<input type="checkbox"/> MPE	<input type="checkbox"/> MPE	-	-
Remote Firing and Monitoring	-	-	-	-	<input type="checkbox"/>
Labels	X	X	X	X	X
Area Posting	-	-	<input type="checkbox"/>	X NHZ	X NHZ

X - Shall

- Should

- - No requirement

- Shall if enclosed Class 3b or Class 4

MPE - Shall if MPE is exceeded

NHZ - Nominal Hazard Zone analysis required

Administrative Control Measures for the Four Láser Classes
Table 10 from ANSI Z136.1 - 2000

Control Measures	Classification				
	1	2	3a	3b	4
Administrative and Procedural Controls					
Standard Operating Procedures	-	-	-	<input type="checkbox"/>	X
Output Emission Limitations	-	-	OSL Determination		
Education and Training	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	X
Authorized Personnel	-	-	-	X	X
Alignment Procedures	-	X	X	X	X
Protective Equipment	-	-	-	<input type="checkbox"/>	X
Spectator	-	-	-	<input type="checkbox"/>	X
Service Personnel	<input type="checkbox"/> MPE	<input type="checkbox"/> MPE	<input type="checkbox"/> MPE	X	X
Demonstration with General Public	MPE*	X	X	X	X
Láser Optical Fiber	MPE	MPE	MPE	X	X
Láser Robotic Installations	-	-	-	X NHZ	X NHZ
Eye Protection	-	-	-	<input type="checkbox"/> MPE	X MPE
Protective Windows	-	-	-	X NHZ	X NHZ
Protective Barriers and Curtains	-	-	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Skin Protection	-	-	-	X MPE	X MPE
Other Protective Equipment	Use may be required				
Warning Signs and Labels (Design Requirements)	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X NHZ	X NHZ
Service and Repairs	OSL Determination				
Modifications and Láser Systems	OSL Determination				

X - Shall

- Should

- - No requirement

- Shall if enclosed Class 3b or Class 4

MPE - Shall if MPE is exceeded

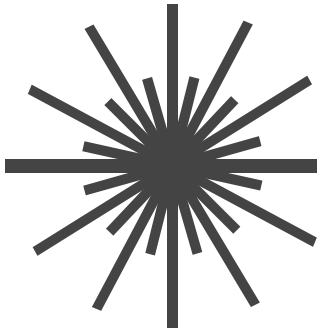
NHZ - Nominal Hazard Zone analysis required

* - Applicable only to UV and ip Lasers



DANGER

VISIBLE AND/OR INVISIBLE LASER RADIATION



**AVOID EYE OR SKIN EXPOSURE
TO DIRECT OR SCATTERED RADIATION
LASER PROTECTIVE EYEWEAR REQUIRED**

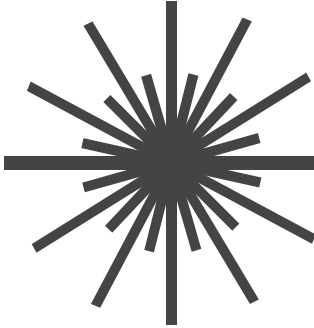
**Laser type
Emitted wavelength
Pulse duration(if appropriate)
Max output**

Class 4 laser



**VISIBLE AND/OR INVISIBLE
LASER RADIATION**

**AVOID DIRECT EXPOSURE TO BEAM
LASER PROTECTIVE EYEWEAR REQUIRED**



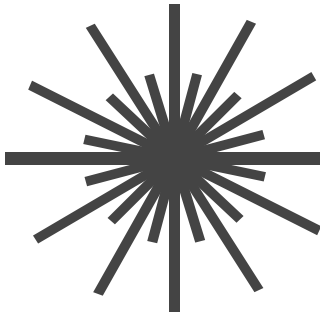
**Laser type
Emitted wavelength
Pulse duration(if appropriate)
Max output**

Class 3b laser

NOTICE

LASER ALIGNMENT OR REPAIR IN PROGRESS

DO NOT ENTER
LASER PROTECTIVE EYEWEAR REQUIRED



Laser type
Emitted wavelength
Pulse duration(if appropriate)
Max output

Class __ laser

Section 3: ANSI Z136.1 Clasificación de Láseres

El American National Standards ANSi Z136 1-2000 ha establecido un sistema de clasificación de láseres de acuerdo a su riesgo relativo y especifica controles apropiados para cada clasificación.

El sistema de clasificación de riesgo de láseres esta basado en la capacidad del haz primario del láser de causar daño biológico en los ojos y/o en la piel durante su uso específico. Otros riesgos accesorios se discuten en la sección 4 de este manual.

Las regulaciones vigentes requieren que los fabricantes clasifiquen sus productos. El fabricante debe colocar una etiqueta en el láser que indique la clase de riesgo. Sin embargo, si la clase de riesgo del láser es desconocida, o cuando el láser ha sido modificado y la clase de riesgo del láser ha cambiado, el SHyS debe ser contactado para evaluar y clasificar el láser.

3.1 Clase 1

Estos láseres son considerados seguros y son incapaces de producir niveles de radiación dañinos durante su operación normal. Los láseres de clase 1 están exentos de medidas de control y vigilancia. Ejemplo: lector de código de barras (ver la tabla).

3.2 Clase 2 y 2a

Los láseres clase 2 & 2a son láseres de baja potencia con una salida de aproximadamente 1 mW de onda continua. Todos los láseres clase 2 operan en el rango visible el espectro (400 nm -700nm). La protección ocular usualmente se logra con la respuesta de aversión y el reflejo de parpadeo (0.25 segundos). Sin embargo, los haces láseres de clase 2 pueden ser riesgosos si se expone el ojo intencionalmente durante mas de .25 segundos. Ejemplo: punteros láser de Helio-Neon (He-Ne) (ver tabla).

3.3 Clase 3a y 3b

Un sistema láser de clase 3 puede emitir en cualquier longitud de onda y puede ser riesgoso bajo condiciones de visión directa y especular, pero la reflexión difusa *usualmente no es* riesgosa. Estos láseres usualmente no presentan riesgo de incendio (ver sección 2 y glosario).

1. Clase 3a : opera a 1-5 mW de onda continua. No se debe mirar directamente al haz. Ejemplo: equipo de alineación óptica.
2. Clase 3b : opera a 5-500 mW para onda continua. Se requieren medidas de control técnico - mecánicas y administrativas para prevenir la visión del haz directo reflejado (ver tabla pag. 23).

3.4 Clase 4

Los sistemas de láseres clase 4 operan a mas de 500 mW (onda continua), pueden emitir en cualquier longitud de onda y son considerados riesgosos para ojos, piel, incendios y reflexión difusa. Las medidas de control más estrictas son las que rigen para estos láseres. Se requieren controles que prevengan la exposición de ojos y piel al haz directo y reflejado difuso.

Typical Láser Classification - Continuous-Wave (CW) Lasers
Table A1 from ANSI Z 136.1 - 2000

Wavelength (μm)	Láser Type	Wavelength (μm)	Class 1* (Watts)	Class 2 (Watts)	Class 3** (Watts)	Class 4 (Watts)	
Ultraviolet 0.180 to 0.280	Neodymium: YAG (Quadruple)	0.266 only	□ 9.6 x 10 ⁻⁹ for 8 hours	None	> Class 1 but □ 0.5	>0.5	
	Argon	0.275					
Ultraviolet 0.315 to 0.400	Helium-Cadmium	0.325 only	□ 3.2 x 10 ⁻⁶	None	> Class 1 but □ 0.5	>0.5	
	Argon	0.351, 0.363					
	Krypton	0.3507, 0.3564					
Visible 0.400 to 0.700	Helium-Cadmium	0.4416 only	□ 4 x 10 ⁻⁵	> Class 1 but □ 1 x 10 ⁻³	> Class 2 but □ 0.5	>0.5	
	Argon (Visible)	0.457	□ 5 x 10 ⁻⁵				
		0.476	□ 1 x 10 ⁻⁴				
		0.488	□ 2 x 10 ⁻⁴				
		0.514	□ 4 x 10 ⁻⁴				
	Krypton	0.530					
	Neodymium: YAG (Double)	0.532					
	Helium-Neon	0.543					
	Dye	0.400-0.550	□ 0.4 x 10 ⁻⁴				
		0.550-0.700					
	Helium-Neon	0.632					
	InGaAlP	0.670					
	Ti:Sapphire	0.670					
	Krypton	0.6471, 0.6764					
	Near Infrared 0.700 to 1.400	GaAlAs	0.780	□ 5.6 x 10 ⁻⁴	None	> Class 1 but □ 0.5	>0.5
GaAlAs		0.850	□ 7.7 x 10 ⁻⁴				
GaAs		0.905	□ 9.9 x 10 ⁻⁴				
Neodymium: YAG		1.064	□ 1.9 x 10 ⁻³				
Helium-Neon		1.080	□ 1.9 x 10 ⁻³				
		1.152	□ 2.1 x 10 ⁻³				
InGaAsP		1.310	□ 1.5 x 10 ⁻³				
Far Infrared 1.400 to 10 ³		InGaAsP	1.550	□ 9.6 x 10 ⁻³			
	Holmium	2.100					
	Erbium	2.940					
	Hydrogen Fluoride	2.600-3.000					
	Helium-Neon	3.390 only					
	Carbon Monoxide	5.000-5.500					
	Carbon Dioxide	10.6					
	Water Vapor	118					
	Hydrogen Cyanide	337		□ 9.5 x 10 ⁻²			

* Assumes no mechanical or electrical design incorporated into láser system to prevent exposures from lasting to $T_{max} = 8$ hours (one workday); otherwise the Class 1 AEL could be larger than tabulated.

**See 3.3.3.1 in ANSI Z 136.1 for definition of Class 3a.

Typical Láser Classification - Single Pulse Lasers
Table A1 from ANSI Z 136.1 - 2000

Wavelength (μm)	Láser Type	Wavelength (μm)	Pulse Duration (s)	Class 1* (Joules)	Class 3b (Joules)	Class 4 (Joules)
Ultraviolet 0.180 to 0.400	Excimer (ArF)	0.193	20×10^{-9}	$\square 2.4 \times 10^{-5}$	> Class 1 but $\square 0.125$	>0.125
	Excimer (KrF)	0.248	20×10^{-9}	$\square 2.4 \times 10^{-5}$		
	Neodymium: YAG Quadrupled (Q-sw)	0.266	20×10^{-9}	$\square 2.4 \times 10^{-5}$		
	Excimer (XeCl)	0.308	20×10^{-9}	$\square 5.3 \times 10^{-5}$		
	Nitrogen	0.337	20×10^{-9}	$\square 5.3 \times 10^{-5}$		
	Excimer (XeF)	0.351	20×10^{-9}	$\square 5.3 \times 10^{-5}$		
Visible 0.400 to 0.700	Rhodamine 6G (Dye Láser)	0.450-0.650	1×10^{-6}	$\square 1.9 \times 10^{-7}$	> Class 1 but $\square 0.03$	>0.03
	Copper Vapor	0.510, 0.578	2.5×10^{-9}			
	Neodymium: YAG Doubled (Q-sw)	0.532	20×10^{-9}			
	Ruby (Q-sw)	0.6943	20×10^{-9}			
	Ruby (Long Pulse)	0.6943	1×10^{-3}	$\square 3.9 \times 10^{-6}$		
Near Infrared 0.700 to 1.4	Ti: Sapphire	0.700-1.000	6×10^{-6}	$\square 1.9 \times 10^{-7}$		
	Alexandrite	0.720-0.800	1×10^{-4}	$\square 7.6 \times 10^{-7}$	> Class 1 but $\square 0.033$	>0.033**
	Neodymium: YAG (Q-sw)	1.064	20×10^{-9}	$\square 1.9 \times 10^{-6}$	> Class 1 but $\square 0.125$	>0.125
Far Infrared 1.4 to 10^3	Erbium: Glass (Q-sw)	1.540	10×10^{-9}	$\square 7.9 \times 10^{-3}$	> Class 1 but $\square 0.125$	>0.125
	Co: Magnesium-Fluoride	1.8-2.5	80×10^{-6}	$\square 7.9 \times 10^{-4}$		
	Holmium	2.100	250×10^{-6}	$\square 7.9 \times 10^{-4}$		
	Hydrogen Fluoride	2.600-3.000	0.4×10^{-6}	$\square 1.1 \times 10^{-4}$		
	Erbium	2.940	250×10^{-6}	$\square 5.6 \times 10^{-4}$		
	Carbon Dioxide (Q-sw)	10.6	100×10^{-9}	$\square 7.9 \times 10^{-5}$		
	Carbon Dioxide	10.6	1×10^{-3}	$\square 7.9 \times 10^{-4}$		

* Assuming that both eye and skin may be exposed, i.e., 1.0 mm beam (area of limiting aperture = $7.9 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$).

** Class 3b AEL varies from 0.033 to 0.480J corresponding to wavelengths that vary between 0.720 and 0.800 μm.

Maximum Permissible Exposure (MPE) for the Eye
Table A1. Small Source MPE's for Commonly Used Lasers
ANSI Z136.5 - 2000

	Wavelength (μm)	MPE (W/cm^2)			
		T*=0.25 s	T=10 s	T=600 s	T=3 x 10 ⁴ s
CO ₂	10.6	-	0.1	-	0.1
Nd:YAG (CW) ^a	1.33	-	5.1 x 10 ⁻³	-	1.6 x 10 ⁻³
Nd:YAG (CW)	1.064	-	5.1 x 10 ⁻³	-	1.6 x 10 ⁻³
Nd:YAG Q-switched ^b	1.064	-	17 x 10 ⁻³	-	2.3 x 10 ⁻⁶
GaAs (diode)	0.840	-	1.9 x 10 ⁻³	-	610 x 10 ⁻⁶
InGdAlP (diode)	0.670	2.5 x 10 ⁻³	-	-	-
HeNe	0.633	2.5 x 10 ⁻³	-	293 x 10 ⁻⁶	17.6 x 10 ⁻⁶
Krypton	0.647	2.5 x 10 ⁻³	-	364 x 10 ⁻⁶	28.5 x 10 ⁻⁶
	0.568	2.5 x 10 ⁻³	-	31 x 10 ⁻⁶	18.6 x 10 ⁻⁶
	0.530	2.5 x 10 ⁻³	-	16.7 x 10 ⁻⁶	1.0 x 10 ⁻⁶
Argon	0.514	2.5 x 10 ⁻³	-	16.7 x 10 ⁻⁶	1.0 x 10 ⁻⁶
XeF ^c	0.351	-	-	-	33.3 x 10 ⁻⁶
XeCl ^c	0.308	-	-	-	1.3 x 10 ⁻⁶

*T is the exposure duration

^a Operating at less common 1.33 μm

^b Pulsed operation at 11Hz, 12-ns pulsed, 20mJ/pulse

^c When repeated exposure levels are anticipated the MPE must be reduced by a factor of 2.5

Table A2. MPE for the Eye for Selected Single Pulse Lasers

Láser Type	Wavelength (μm)	Pulse Duration (s)	MPE (J cm^{-2})
Excimer (ArF)	0.193	2 x 10 ⁻⁸	3 x 10 ⁻³
Excimer (XeCl)	0.308	2 x 10 ⁻⁸	6.7 x 10 ⁻³
Ruby (pulsed)	0.694	1 x 10 ⁻³	1 x 10 ⁻³
Nd:YAG (pulsed)	1.064	1 x 10 ⁻³	5 x 10 ⁻⁵
Nd:YAG (Q-Switched)	1.064	5-100 x 10 ⁻⁹	5 x 10 ⁻⁶
Carbon Dioxide (CO ₂)	10.6	1 x 10 ⁻³	10 x 10 ⁻³

Section 4: Non-Beam Hazards

In addition to direct hazards to the skin and eyes with exposure to the laser beam, it is important to consider other related hazards with the use of lasers. These classes of hazards may include: electrical, fire, explosion, other optical radiation hazards, compressed gases, cryogenic, toxic and carcinogenic materials, ionizing radiation, and noise. Associated hazards must be evaluated and included in Plan de Protección by each Investigador Responsable (IR) for their specific laser applications with approval by the SHyS.

4.1 Electrical Hazards

Electrocution is most common when the laser, or laser system, is going through installation, maintenance, modification, and service, where the protective covers are often removed to allow access to active components. To prevent electrical injuries, all personnel should be adequately trained and the “buddy system” used whenever working around high voltage laser power supplies

All laser systems shall be installed in accordance with manufacturer specifications and/or as required in the National Electrical Code. The following are frequently identified as potential electrical problems during laser facility audits:

- Uncovered electrical terminals.
- Improperly insulated electrical terminals.
- Hidden “power-up” warning lights.
- Lack of personnel trained in current cardiopulmonary resuscitation practices, or lack of refresher training.
- “Buddy system” or equivalent safety measure not being practiced during maintenance and service.
- Failure to properly discharge and ground capacitors.
- Non earth-grounded or improperly grounded laser equipment.
- Non-adherence to the OSHA lock-out standard (29CFR 1910.147).
- Excessive wires and cables on floor that create fall or slip hazards.

4.2 Fire Hazards

Class 4 laser beams represent a fire hazard. Irradiances exceeding 10 W cm^{-2} or beam powers exceeding 0.5 W, flame resistant materials should be used for such cases.

4.3 Explosion Hazards

High-pressure arc lamps, filament lamps, and capacitor banks in laser equipment shall be enclosed in housings, which can withstand the maximum explosive pressure. The laser target and elements of the optical train which may shatter during laser operation shall be enclosed, or equivalently protected, to prevent injury to the operator and/or observers. Explosive reactions of chemical laser reactants, or other laser gases, may be of concern in some cases.

4.4 Compressed Gases

Presently, many hazardous gases, (eg. chlorine, fluorine, hydrogen chloride, and hydrogen fluoride), are being used in lasers or laser systems. In cases where hazardous gases are present in a laser system, procedure for their safe handling shall be developed and incorporated into the Standard Operating Procedure (SOP).

4.5 Laser Dye and Solvents

Laser dyes are organic compounds which, when mixed in solution with certain solvents, form a lasing medium for dye lasers. Certain dyes are highly toxic or carcinogenic. Since these dyes need to be changed frequently, special care must be considered when handling, preparing solutions, and operating dye lasers. An MSDS for dye compounds shall be available to all appropriate workers. Contact the SHyS for disposal.

4.6 Optical Radiation - (other than laser beam hazards)

Ultraviolet radiation emitted from a laser's discharged tubes and pumping lamps (i.e., not part of the primary laser beam) must be suitably shielded so that personnel exposures are maintained within the threshold limit values specified by National Laws

Plasma emissions created during a laser-welding process may have sufficient ultraviolet and/or blue light content (0.2 to 0.55 μm) to raise concern for operators viewing a laser-welding process on a long-term basis without additional protection for the plasma emission.

4.7 Industrial Hygiene Considerations

Industrial hygiene concerns include hazards associated with compressed gases, cryogenic materials, toxic and carcinogenic material, noise, and ionizing radiation. Adequate local exhaust ventilation shall be installed to reduce potentially hazardous fumes and vapors produced by laser welding, cutting, and other laser target interactions to levels below those used for non-laser conventional cutting, e.g., flame cutting, and welding of the same material.

4.8 Ionizing Radiation

The source, quality, and intensity of X-rays emanating from laser power supplies and components therein, should be investigated and controlled in accordance with the provisions of the national laws.

Section 5: Appendices

5.1 Láser Fundamentals

A láser is a device which produces an intense, coherent directional beam of light by stimulating electronic or molecular transitions to higher energy levels. LASER is an acronym for Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. A láser system is an assembly of electrical, mechanical, and optical components which includes a láser.

Láser light is uniquely different from more common light sources due to four important properties: monochromaticity, directionality, radiance, and coherence.

Monochromaticity

The color of light is dependent upon the wavelength used. Violet has the shortest wavelength, red has the longest and white light is the combination of all visible colors or wavelengths. Láser light consists of only a single color of light. Wavelengths, while not uniform in length, occur within a very narrow range, producing a beam of only one color.

Directionality - Collimation

Light from an ordinary source radiates in an omni-directional manner. This divergence makes these sources useful for lighting homes and work places. Láser light, however diverges very slowly as it radiates away from the source. The láser light is concentrated into a narrow cone of divergences, which propagates outward from the source in a single direction.

Radiance

Radiance is closely related to the directionality characteristic, and describes the amount of power radiated by the láser within the narrow cone of divergence.

The significant factor is the ability of the láser to be focused (with lens) down into a very small, intense área.

Coherence

The coherence of láser light actually contributes to most aspects of the other three characteristics and is based on the wave properties of light.

Light waves generated by an ordinary light source, such as a fluorescent bulb, are incoherent, i.e., a mixture of different frequencies and wavelengths of light, not in step with one another.

Light waves generated by a láser are all of the same frequency, i.e., "hills and valleys" all occur at the same time, and waves are all in step with one another.

The relationship between coherence and the other three properties are listed below:

- Coherent light waves are monochromatic.
- Since coherent light waves are all in phase with one another as they travel through space, the beam is highly directional with very low divergence.
- Since power is concentrated within this narrow cone of divergence, radiance is very high.

Láser sources operate within four primary regions of the electromagnetic spectrum.

- Ultraviolet (100 to 400 nm), wavelengths are shorter than the visible portion of the spectrum.
- Visible (400 to 700 nm), visible wavelength ranging from the blue to the red spectrum respectively.
- Near Infrared (0.7 to 1.4 μm), wavelengths are longer than the visible portion of the spectrum.
- Far Infrared (1.4 to $10^3 \mu\text{m}$), where heat is predominantly radiated by material objects and terminates where the microwave portion of the spectrum begins.

5.2 The Lasing Process

All lasers are comprised of four basic elements:

- The Active Medium - the collection of atoms or material that can be excited to a state of population inversion.
- The Excitation Mechanism - the source of energy to move atoms from ground state to an excited state to create the population inversion.
- The Feedback Mechanism - the system that returns a fraction of coherent láser light produced in the active medium back to an active medium.
- The Output Coupler - by making one of the mirrors partially transmitting, a portion of the coherent light is then allowed to escape.

In brief, the lasing process occurs as follows:

- The Excitation Mechanism supplies sufficient energy to create a population inversion.
- Excitation atoms in the active medium emit the laser wavelength in all directions by spontaneous emission. The resulting incoherent light is called fluorescence.
- Photons are emitted traveling perpendicular to mirrors at the ends of the active medium and cause stimulated emission as photons are reflected back and forth through the active medium.
- The reflection of photons continues and builds up optical standing waves inside the active medium that are composed of photons of the same wavelength, direction of travel, and coherence. Some photons escape through the output coupler to form the laser beam.
- Laser emission may be either cw (continuous wave) or pulsed, with pulse repetition frequencies ranging from 1 to 10^{10} pulse per second. The pulse duration will typically range from a few milliseconds, 10^{-3} seconds, to several picoseconds, 10^{-12} seconds.

5.3 Types of Lasers

There are four important types of lasers with differentiation based on active medium type, pumping method, and the character of the output beam.

Solid Crystal Lasers

Solid Crystal Lasers employ a solid Crystalline material as an active medium such as Ruby (crystalline Aluminum oxide doped with Chromium) or Neodymium: YAG (triply ionized Neodymium doped with Yttrium Aluminum Garnet).

The active medium is a cylindrical rod with ends cut plane-parallel to each other then polished.

The pumping method is usually a tungsten filament lamp coupled with an AC power supply (for Ruby).

Gas Lasers

Gas Lasers use gas or a gas mixture such as Argon or Helium-Neon as an active medium and are contained within a sealed glass tube called a plasma tube.

Mirrors are either attached to the ends of the plasma tube or are mounted externally.

The pumping method is usually DC discharge within the plasma tube and may be either continuous or pulsed.

Liquid Lasers

Liquid Lasers employ liquid as an active medium such as, complex organic dyes in alcohol solutions (Rhodamine 6G). Dye solutions circulate through the glass tube. Different chemicals are fed into the reaction chamber.

The feedback mechanisms are mirrors mounted externally to the glass tube or reaction chamber.

The output wavelength can be varied by changing the dye's concentrations, and the pumping method could be high intensity flashlamp or a second laser.

Liquid lasers can be pulsed or continuous wave, ultraviolet, infrared or visible.

Semiconductor Lasers

Semiconductor Lasers, which are aOSL called laser diodes or injection lasers, employ an active medium that is a p-n junction between slabs of semiconductor material such as Gallium/Arsenide.

The feedback mechanism is provided by cleaving sides of slab along crystal planes to form parallel mirror surfaces.

The pumping method is an application of power supply across p-n junction where the intensity of light is controlled by varying power applied. The output is generally in the infrared end of the electromagnetic spectrum.

Excimer Lasers

Excimer (an abbreviation for Excited Dimer) Lasers operate using reactive gases such as chlorine and fluorine mixed with inert gases, such as argon, krypton, or xenon. The combinations, when electrically excited, produce a pseudo molecule or "Dimer" with an energy level configuration that allows the generation of a specific laser wavelength in the UV spectra.

Free-Electron Lasers

The Free-Electron Lasers are similar in many respects to a microwave oscillator tube. The photon emission occurs between continuum states of free electrons. The transition wavelength is determined by momentum conservation in the interaction with an "undulator" magnet. The undulator magnet consists of a transverse magnet field which varies sinusoidally along the electronic beam trajectory. An electron transversing such a magnet is free to scatter a virtual photon from the magnet into a real photon.

5.4 Biological Effects of Laser Radiation

Laser radiation should not be confused with ionizing radiation, such as X-rays and gamma rays, although very high irradiances have been known to produce ionization in air and other materials. The biological effects of laser radiation are essentially the action of visible, ultraviolet or infrared radiation upon tissues. However, radiant intensities typically produced by lasers are of magnitudes that could previously be approached only by the sun, nuclear weapons, burning magnesium, or arc lights. Typically, the radiant exposure of the retina is 100,000 times that of the iris in the visible spectrum. That is, the lens of the eye concentrates the power of the laser beam by up to 100,000 times.

This is one of the important properties that make lasers potentially hazardous. Laser radiation incident upon biologic tissue will be reflected, transmitted, and/or absorbed. The degree to which each of these effects occurs depends upon various properties of the tissues involved. Absorption is selective, as in the case of visible light; darker material such as melanin or other pigmented tissue absorbs more energy. The macula lutea is the area in the eye of greatest visual acuity (central vision). A lesion resulting from a laser strike in the macula lutea area could "blind" an individual by destroying the central vision. This is why lasers should never radiate at eye level. Q-switched lasers pose a greater hazardous threat due to the substantial radiant exposure per time period.

Eye Effects

The eye is the organ most critical in evaluating laser hazards. For laser hazard purposes, the important components of the eye are the cornea, the lens, and the retina. The cornea is the transparent outer covering of the eye and it is composed of a regular arrangement of transparent fibers. Physiologically, it is part of the skin; however, it does not have the melanin pigment associated with the skin. Its response to radiation, therefore, is very similar to the skin. Any misalignment of the regular order of the fibers can cause the cornea to become opaque. Because the cornea lacks the skin's pigmentation, it is very sensitive to ultra-violet radiation.

Visible and near infrared lasers pose a critical hazard on the retina. Infrared-A is transmitted by the cornea to the lens and then focused upon the retina. Far infrared B&C is absorbed by the cornea and damages that part of the eye. The macula lutea is the area on the retina of greatest visual acuity (central vision). A lesion resulting from a laser strike in the macula lutea area could "blind" an individual by destroying the central vision. Whether or not damage occurs depends on the wavelength and the energy density at the eye. These considerations have been taken into account when establishing the maximum permissible exposures (MPE) of ANSI Z136.1, for the eye and skin.

Specifically, lasers can produce the following biological effects based on wavelength:

Ultraviolet Radiation (100-400 nm)

Actinic ultraviolet radiation, UV-B (200-315 nm) and UV-C (100-200 nm), can produce symptoms similar to those observed in arc welders. It may cause severe acute inflammation of the eye and conjunctiva. UV-B and UV-C radiation does not reach the retina. Near ultraviolet radiation, UV-A (315-400 nm), is absorbed principally in the lens which causes the lens to fluoresce. Very high doses can cause corneal and lenticular opacities. Insignificant levels of UV-A reach the retina. The most hazardous wavelength for cataract production appears to be 300 nm.

Visible Light (400-700 nm) and Near-Infrared (ip-A) Radiation (700-1400 nm)

Adverse laser effects are generally believed to be limited largely to the retina in this spectral region. The effect upon the retina may be a temporary reaction without residual pathologic changes, or it may be more severe with permanent pathologic changes resulting in a permanent scotoma. The mildest observable reaction may be simple reddening; as the retinal irradiance is increased, lesions may occur which progress in severity from edema to charring, with hemorrhage and additional tissue reaction around the lesion. Very high radiant exposures will cause gases and mechanical compression waves (acoustic transients) to form near the site of absorption, which may disrupt the retina and may alter the physical structure of the eye. Portions of the eye other than the retina may be selectively injured, depending upon the region where the greatest absorption of the specific wavelength of the laser energy occurs and the relative sensitivity of tissue affected. Lasers and light sources in the blue-green wavelengths area potentially are more hazardous than other visible lasers because of the high absorption properties of melanin in the blue-green region. Blue laser radiation has caused retinal lesions in monkeys at approximately 1/1000 the irradiance necessary to produce thermally induced retinal lesions using red laser radiation. The action spectrum for such retinal lesions may include the UV region around 400 nm. There is no reason to believe that UV could not photochemically or thermally induce retinal lesions if the ocular spectral transmission of the species in question allows the near ultraviolet to reach the

retina.

Far-Infrared Radiation ip-B (1.4-3 μm) and ip-C (3-1000 μm)

Absorption of far-infrared radiation produces heat with its characteristic effect on the cornea and the lens of the eye. The 10.6 micrometer wavelength from the carbon-dioxide laser is absorbed by the cornea and conjunctiva and may cause severe pain and destructive effects.

Skin Effects

Skin injuries are not as consequential as eye injuries. Skin reflects most visible and ip-A radiation, where as it is highly absorbing at UV-B, UV-C, ip-B and ip-C. Adverse thermal effects resulting from exposure of the skin to radiation from 315 nm to 1 mm may vary from mild reddening (erythema) to blistering and charring, depending upon the exposure dose rate, the dose (amount of energy) transferred, and conduction of heat away from the absorption site. Adverse skin effects resulting from exposure to UV-B radiation vary from erythema to blistering depending upon the wavelength and total exposure dose.

There is a large variation in individual sensitivity to skin injuries. Maximum permissible exposure limits are therefore indicated for the exposure that most individuals can tolerate without sustaining tissue injury or adverse biological damage.

5.5 Photosensitizing Agents

There are certain medical conditions, xeroderma pigmentosum, herpes simplex, and agents, which may lower the MPE threshold for biological effects in the skin, cornea, lens and retina from exposure to ultraviolet and near ultraviolet radiation. Certain chemicals, known as photosensitizing agents, can increase skin sensitivity from ultraviolet exposure. Below is a representative list of photosensitizing agents from ANSI Z136.1-2000:

	Agent	Reaction
1	Sulfanamide	Phototoxic Photoallergic
2	Sulfonylurea	Phototoxic
3	Chlorthiazides	Papular and Edematous Eruptions
4	Phenothiazines	Exaggerates Sunburn Urticaria Gray-Blue Hyperpigmentation
5	Antibiotics, e.g., Tetracycline	Exaggerates Sunburn Phototoxic
6	Griseofulvin	Exaggerates Sunburn Phototoxic Photoallergic
7	Nalidixin Acid	Erythema Bullae
8	Furocoumarins (Psoralen)	Erythema Bullae Hyperpigmentation
9	Estrogens/Progesterones	Melasma Phototoxic
10	Chlordiazepoxide (Librium)	Eczema
11	Triazetyldiphenolisatin (Laxative)	Eczematious Photoallergic Reaction
12	Cyclamates	Phototoxic Photoallergic
13	Porphyryns (Porphyria)	Phototoxic
14	Retin-A (Retinoic Acid)	Exaggerates Sunburn Photoallergic

5.6 Glossary of Laser Terms - ANSI Z136.1-2000

- absorption.** Transformation of radiant energy to a different form of energy by interaction with matter.
- accessible emission limit (AEL).** The maximum accessible emission level permitted within a particular class.
- accessible optical radiation.** Optical radiation to which the human eye or skin may be exposed for the condition (operation, maintenance, or service) specified.
- administrative control.** Control measures for the safe use of lasers or laser systems, which involve the application of SOP, warning signs, eyewear....
- alpha max (α_{max}).** The angular limit beyond extended source MPEs for a given exposure duration are expressed as a constant radiance or integrated radiance. This value is defined as 100 mrad.
- alpha min (α_{min}).** See *limiting angular subtense*.
- aperture.** An opening or window through which radiation passes.
- aphakic.** Term describing an eye in which the crystalline lens is absent.
- apparent visual angle.** The angular subtense of the source as calculated from source size and distance from the eye. It is not the beam divergence of the source.
- attenuation.** The decrease in the radiant flux as it passes through an absorbing or scattering medium.
- authorized personnel.** Individuals approved by management to install, operate, or service laser equipment.
- average power.** The total energy in an exposure or emission divided by the duration of the exposure or emission.
- aversion response.** Closure of the eyelid, or movement of the head to avoid an exposure to a noxious stimulant or bright light. In this manual, the aversion response to an exposure from a bright laser source is assumed to occur within 0.25 s, including the blink reflex time.
- beam.** A collection of rays characterized by direction, diameter, (or dimension), and divergence (or convergence).
- beam diameter.** The distance between diametrically opposed points in the cross-section of a beam where the power per unit area is 1/e (0.368) times that of the peak power per unit area.
- beam divergence (ϕ).** See *divergence*.
- blink reflex.** See *aversion response*.
- C_A.** Correction factor which increases the MPE values in the near infrared (ip-A) spectral band (700-1400 nm) based upon reduced absorption properties of melanin pigment granules found in the skin and in the retinal pigment epithelium.
- C_B.** Correction factor which increases the MPE values in the red end of the visible spectrum (450-600 nm), because of greatly reduced photochemical hazards.
- C_E.** Correction factor used for calculating the extended-source MPE for the eye from the small-source MPE, when the laser source subtends a visual angle exceeding α_{min} .
- C_P.** Correction factor which reduces the MPE for repetitive-pulse exposure of the eye.
- calorimeter.** A device for measuring the total amount of energy absorbed from a source of electromagnetic radiation.
- carcinogen.** An agent potentially capable of causing cancer.
- coagulation.** The process of congealing by an increase in viscosity characterized by a condensation of material from a liquid to a gelatinous or solid state.
- coherent.** A light beam is said to be coherent when the electric vector at any point in it is related to that at any other point by a definite, continuous function.
- collateral radiation.** Any electromagnetic radiation, except laser radiation, emitted by a laser or laser system which is physically necessary for its operation.
- collecting optics.** Lenses or optical instruments having magnification and thereby producing an increase in energy or power density. Such devices may include telescopes, binoculars, microscope, or loupes.
- collimated beam.** Effectively, a "parallel" beam of light with very low divergence or convergence.
- conjunctival discharge (of the eye).** Increased secretion of mucus from the surface of the eyeball.
- continuous wave (CW).** The output of a laser which is operated in a continuous rather than a pulsed mode. In this standard, a laser operating with a continuous output for a period ≥ 0.25 s is regarded as a CW laser.
- controlled area.** An area where the occupancy and activity of those within is subject to control and supervision for the purpose of protection from radiation hazards.
- cornea.** The transparent outer coat of the human eye which covers the iris and the crystalline lens. The cornea is the main refracting element of the eye.
- critical frequency.** The pulse repetition frequency above which the laser output is considered continuous wave (CW). For a 10 s exposure to a small source, the critical frequency is 55 kHz for wavelengths between 0.4 and 1.05 μm , and 20kHz for wavelength between 1.05 and 1.4 μm .
- cryogenics.** The branch of physical science dealing with very low temperatures.
- denaturation.** Functional modification of the properties of protein by structural alteration via heat of photochemical processes.
- depigmentation.** The removal of the pigment of melanin granules from human tissues.
- dermatology.** A branch of medical science that deals with the skin, its structure, functions, and diseases.
- diffuse reflection.** Change of the spatial distribution of a beam of radiation when it is reflected in many directions

by a surface or by a medium.

diopter. A measure of the power of a lens, defined as $1/f_0$, where f_0 is the focal length of the lens in meters.

divergence (ϕ). For the purpose of this standard, divergence is taken as the plane angle projection of the cone that includes $1 - 1/e$ (i.e. 63.2%) of the total radiant energy or power. The value of the divergence is expressed in radians or milliradians.

effective energy (Q_{eff}). Energy, in joules, through the applicable measurement aperture.

effective power (ϕ_{eff}). Power, in watts, through the applicable measurement aperture.

electromagnetic radiation. The flow of energy consisting of orthogonally vibrating electric and magnetic fields lying transverse to the direction of propagation. X-ray, ultraviolet, visible, infrared, and radio waves occupy various portions of the electromagnetic spectrum and differ only in frequency, wavelength, and photon energy.

embedded laser. An enclosed laser with an assigned class number higher than the inherent capability of the laser system in which it is incorporated, where the system's lower classification is appropriate due to the engineering features limiting accessible emission.

enclosed laser. A laser that is contained within a protective housing of itself or of the laser or laser system in which it is incorporated. Opening or removing of the protective housing provides additional access to laser radiation above the applicable MPE than possible with the protective housing in place (an embedded laser is an example of one type of enclosed laser).

endoscope. An instrument utilized for the examination of the interior of a canal of hollow organ.

energy. The capacity for doing work. Energy content is commonly used to characterize the output from pulsed lasers, and is generally expressed in joules (J).

engineering control. Control measures for the safe use of lasers or laser systems, which are directly related to the laser itself (i.e. enclosures, interlocks...).

epidemiology. A branch of medical science that deals with the incidence, distribution, and control of disease in a population.

epithelium (of the cornea). The layer of cells forming the outer surface of the cornea.

erythema. Redness of the skin due to congestion of the capillaries.

extended source. A source of optical radiation with an angular subtense at the cornea larger than α_{min} . See *small source*.

fail-safe interlock. An interlock where the failure of a single mechanical or electrical component of the interlock will cause the system to go into, or remain in, a safe mode.

focal length. The distance, measured in centimeters, from the secondary nodal point of a lens to the secondary focal point. For a thin lens imaging a distant source, the focal length is the distance between the lens and the focal point.

focal point. The point toward which radiation converges or from which radiation diverges or appears to diverge.

fundus. See *ocular fundus*.

fundoscopic. Examination of the fundus (rear) of the eye.

half-power point. The value on either the leading or trailing edge of a laser pulse at which the power is one-half of its maximum value.

hertz (Hz). The unit which expressed the frequency of a periodic oscillation in cycles per second.

infrared. The region of the electromagnetic spectrum between the long-wavelength extreme of the visible spectrum (about $0.7\mu\text{m}$) and the shortest microwaves (about 1 mm).

infrared radiation. Electromagnetic radiation with wavelength which lie within the range $0.7\mu\text{m}$ to 1 mm.

installation. Placement and connection of laser equipment at the appropriate site to enable intended operation.

integrated radiance. The integral of the radiance over the exposure duration, expressed in joules-per-square-centimeter per-steradian ($\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$).

intra-beam viewing. The viewing condition whereby the eye is exposed to all of part of a laser beam (See *small source viewing*).

ionizing radiation. Electromagnetic radiation having a sufficiently large photon energy to directly ionizing atomic or molecular systems with a single quantum event.

iris. The circular pigmented membrane, which lies behind the cornea of the human eye. The iris is perforated by the pupil.

irradiance. Radiant power incident per unit area upon a surface, expressed in watts-per-square-centimeter ($\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$). Synonym: *power density*.

Jaeger's test. Samples of type of various sizes printed on a card for testing close visual acuity. An analogue of the Snellen chart for distant visual acuity.

joule. A unit of energy. 1 joule = 1 watt*second.

Lambertian surface. An ideal surface whose emitted or reflected radiance is independent of the viewing angle.

laser. A device that produces radiant energy predominantly by stimulated emission. Laser radiation may be highly coherent temporally, or spatially, or both. An acronym for **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation.

laser barrier. A device used to block or attenuate incident direct or diffuse laser radiation. Laser barriers are frequently used during times of services to the laser system when it is desirable to establish a boundary for a temporary (or permanent) laser controlled area.

laser diode. A laser employing a forward-biased semiconductor junction as the active medium. Synonym: *injection laser; semiconductor laser.*

laser pointer. A Class II or Class IIIa laser product that is usually hand held that emits a low-divergence visible beam of less than 5 milliwatts and is intended for designating specific objects or images during discussions, lectures or presentations as well as for the aiming of firearms or other visual targeting practice.

laser safety officer (OSL). Person who has authority to monitor and enforce the control of lasers and laser systems.

laser system. An assembly of electrical, mechanical, and optical components which includes a laser.

lesion. An abnormal change in the structure of an organ or part due to injury or disease.

limiting angular subtense (α_{\min}). The apparent visual angle which divides small-source viewing from extended-source viewing. α_{\min} is defined as 1.5 mrad.

limiting aperture (D_l). The maximum diameter of a circle over which radiance and radiant exposure are averaged for purposes of hazard evaluation and classification.

limiting cone angle (γ). Angle of acceptance for measurement of photochemical hazard for extended sources with radiance and integrated radiance.

limiting exposure duration (T_{\max}). An exposure duration which is specifically limited by the design or intended use(s).

macula. The small uniquely pigmented specialized area of the retina of the eye, which in normal individuals, is predominantly employed for acute central vision (i.e. area of best visual acuity).

maintenance. Performance of those adjustments or procedures (specified in user information provided by the manufacturer of the laser or laser system), which are to be performed by the user to ensure the intended performance of the product. It does not include *operation* or *service* as defined in this section.

maximum permissible exposure (MPE). The level of laser radiation to which a person may be exposed without hazardous effect or adverse biological changes in the eye or skin.

meter. A unit of length in the international system of units; currently defined as the length of a path transversed in vacuum by light during a period of 1/299792458 seconds. Typically, the meter is subdivided into the following units:

centimeter (cm) = 10^{-2} m

millimeter (mm) = 10^{-3} m

micrometer (μm) = 10^{-6} m

nanometer (nm) = 10^{-9} m

minimum viewing distance. The minimum distance at which the eye can produce a focused image of a diffuse source, usually assumed to be 10 cm.

nominal hazard zone (NHZ). The space within which the level of the direct, reflected, or scattered radiation during normal operation exceeds the applicable MPE. Exposure levels beyond the boundary of the NHZ are below the appropriate MPE level.

nominal ocular hazard distance (NOHD). The distance along the axis of the unobstructed beam from a laser, fiber end, or connector to the human eye beyond which the irradiance or radiant exposure, during installation or service, is not expected to exceed the appropriate MPE.

non-beam hazard. A class of hazards that result from factors other than direct human exposure to a laser beam.

ocular fundus. The interior posterior surface of the eye (the retina), as seen upon ophthalmoscopic examination.

operation. The performance of the laser or laser system over the full range of its intended functions (normal operation). It does not include *maintenance* or *service* as defined in this section.

ophthalmoscope. An instrument for examining the interior of the eye.

optically aided viewing. Viewing the laser source with an optical device such as an eye loupe, hand magnifier, microscope, binoculars, telescope, etc. Optically aided viewing does not include viewing with corrective eyewear or with indirect image converters.

optical density (D_λ). Logarithm to the base ten of the reciprocal of the transmittance. That is,

$$D_\lambda = -\log_{10} \tau_\lambda$$

where τ_λ is the transmittance.

photophobia. An unusual intolerance of light. AOSL, an aversion to light usually caused by physical discomfort upon exposure to light.

photosensitizers. Substances which increase the sensitivity of a material to irradiation by electromagnetic energy.

pigment epithelium (of the retina). The layer of cells which contain brown or black pigment granules next to and behind the rods and cones.

plasma radiation. Black-body radiation generated by luminescence of matter in a laser-generated plume.

power. The rate at which energy is emitted, transferred, or received. Unit: watts (joules per second).

protective housing. An enclosure surrounding the laser or laser system that prevents access to laser radiation above the applicable MPE level. The aperture through which the useful beam is emitted is not part of the protective housing. The protective housing may enclose associated optics and a workstation, and limits access to other associated radiant energy emission and to electrical hazards associated with components and terminals.

pulse duration. The duration of a laser pulse, usually measured as the time interval between the half-power

points on the leading and trailing edges of the pulse.

pulse-repetition frequency (PRF). The number of pulses occurring per second, expressed in hertz.

pulsed laser. A laser which delivers its energy in the form of a single pulse or a train of pulses. In this standard, the duration of a pulse $< 0.25s$.

pupil. The variable aperture in the iris through which light travels to the interior of the eye.

Q-switch. A laser that emits short (~ 10 - $250ns$), intense laser pulses by enhancing the storage and dumping of electronic energy in and out of the lasing medium, respectively.

Q-switched laser. A laser that emits short (~ 10 - 250 ns), high-power pulses by means of a Q-switch.

radian (rad). A unit of angular measure equal to the angle subtended at the center of a circle by an arc whose length is equal to the radius of the circle. 1 radian ~ 57.3 degrees; 2π radians = 360 degrees.

radiance. Radiant flux or power output per unit solid angle per unit area expressed in watts-per-centimeter squared-per-steradian ($W \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1}$).

radiant energy. Energy emitted, transferred, or received in the form of radiation. Unit: joules (J).

radiant exposure. Surface density of the radiant energy received expressed in units of joules-per-centimeter squared ($J \cdot cm^{-2}$).

radiant flux. Power emitted, transferred, or received in the form of radiation. Unit: watts (W). AOSL called: *radiant power*.

radiant intensity. Quotient of the radiant flux leaving a source and propagated into an element of solid angle containing the direction, by the element of solid angle. Radiant intensity is expressed in units of watts per steradian ($W \cdot sr^{-1}$).

radiant power. Power emitted, transferred, or received in the form of radiation, expressed in watts (W). Synonym: *radiant flux*.

radiometry. A branch of science that deals with the measurement of radiation. For the purpose of this standard, radiometry will be limited to the measurement of infrared, visible, and ultraviolet radiation.

Rayleigh scattering. Scattering of radiation in the course of its passage through a medium containing particles whose sizes are small compared with the wavelength of the radiation.

reflectance. The ratio of total reflected radiant power to total incident power. AOSL called *reflectivity*.

reflection. Deviation of radiation following incidence on a surface.

refraction. The bending of a beam of light in transmission through an interface between two dissimilar media or in a medium whose refractive index is a continuous function of position.

refractive index (of a medium). Denoted by n , the ratio of the velocity of light in vacuum to the phase velocity in the medium. Synonym: *index of refraction*.

repetitive pulse laser. A laser with multiple pulses of radiant energy occurring in a sequence.

retina. The sensory membrane that receives the incident image formed by the cornea and lens of the human eye. The retina lines the inside of the eye.

retinal hazard region. Optical radiant with wavelengths between 0.4 and 1.4 μm , where the principle hazards is usually to the retina.

safety latch. A mechanical device designed to slow direct entry to a controlled area.

scanning laser. A laser having a time-varying direction, origin, or pattern of propagation with respect to a stationary frame of reference.

scintillation. The rapid changes in irradiance levels in a cross-section of a laser beam.

secured enclosure. An enclosure to which casual access is impeded by an appropriate means, e.g., a door secured by a magnetically or electrically operated lock or latch, or by fasteners that need a tool to remove.

service. The performance of those procedures or adjustments described in the manufacturer's service instructions which may affect any aspect of the performance of the laser or laser system. It does not include *maintenance* or *operation* as defined in this section.

shall. The word "shall" is to be understood as mandatory.

should. The word "should" is to be understood as advisory.

small source. In this document, a source with an angular subtense at the cornea equal to or less than α_{min} , i.e., \leq then 1.5 mrad. This includes all sources formerly referred to as "point sources" and meeting small-source viewing (formerly called point source or intrabeam viewing) conditions.

small-source viewing. The viewing condition whereby the angular subtense of the source, α_{min} , is equal to or less than the limiting angular subtense, α_{min} .

solid angle. The three-dimensional angular spread at the vertex of a cone measured by the intercepted by the cone on a unit sphere whose center is the vertex of the cone. Solid angle is expressed in steradians (sr).

source. A laser of a laser-illuminated reflecting surface.

spectator. An individual who wishes to observe or watch a laser or laser system in operation, and who may lack the appropriate laser safety training.

specular reflection. A mirror-like reflection.

steradian (sr). The unit of measure for a solid angle. There are 4π steradians about any point in space.

standard operating procedure (SOP). Formal written description of the safety and administrative procedures to be followed in performing a specific task.

stromal haze (of the cornea). Cloudiness in the connective tissue or main body of the cornea.

surface exfoliation (of the cornea). A stripping or peeling off of the surface layer of cells from the cornea.

synergism. A condition in which the combined effect is greater than the sum effects of individual contributors.

T₁. The exposure duration (time) at which MPEs based upon thermal injury are replaced by MPEs based upon photochemical injury to the retina.

T₂. The exposure duration (time) beyond which extended-source MPEs based upon thermal injury are expressed as a constant irradiance.

threshold limit (TL). In this standard, the term is applied to laser protective eyewear filters, protective windows, and barriers. The TL is an expression of the “resistance factor” for beam penetration of a laser protective device. This is generally related by the Threshold Limit (TL) of the protective device (expressed in $W \cdot cm^{-2}$ or $J \cdot cm^{-2}$). It is the maximum average irradiance (or radiant exposure) at a given beam diameter for which a laser protective device (e.g. filter, window, barrier, etc.) provides adequate beam resistance. Thus, laser exposures delivered on the protective device at or below the TL will limit beam penetration to levels at or below the applicable MPE.

T_{max}. See *limiting exposure duration*.

t_{min}. For a pulse laser, the maximum duration for which the MPE is the same as the MPE for a 1 ns exposure. For thermal biological effects, this corresponds to the “thermal confinement duration” during which heart flow does not significantly change the absorbed energy content of the thermal relaxation volume of the irradiated tissue.

tonometry. Measurement of the pressure (tension) of the eyeball.

transmission. Passage of radiation through a medium.

transmittance. The ratio of transmitted power to incident power.

ultraviolet radiation. Electromagnetic radiation with wavelengths shorter than those of visible radiation; for the purpose of this standard, 0.18 to 0.4 μm .

uncontrolled area. An area where the occupancy and activity of those within is not subject to control and supervision for the purpose of protection from radiation hazards.

viewing window. Visually transparent parts of enclosures that contain laser processes. It may be possible to observe the laser processes through the viewing window.

visible radiation (light). In this standard, the term is used to describe electromagnetic radiation which can be detected by the human eye. This term is commonly used to describe wavelength which lie in the range 0.4 to 0.7 μm .

watt (W). The unit of power or radiation flux. 1 watt = 1 joule-per-second.

wavelength. The distance between two successive points on a periodic wave which have the same phase.

work practices. Procedures used to accomplish a task.

5.7 Formularios para Uso de Láseres

Formulario para Autorización para Uso de Láseres

Apellido y Nombre: _____
(Last, First, Middle Initial)

Teléfono Oficina: _____

Cargo: _____

Teléfono Laboratorio: _____

E-mail: _____

Identificación del Laboratorio: _____

Departamento: _____

Investigador Responsable /Contacto: _____

E-mail Investigador Responsable /Contacto _____

Protección de Ojos? Si / No

Señales y Carteles? Si / No

Manual de Seguridad de Láser? Si / No

Plan de Seguridad de Láser? Si / No

Liste todos los láseres a ser usados en el laboratorio

Fabricante	Modelo	Serial Number

Resumen del Proyecto

Todo el personal autorizado para usar láseres en el laboratorio debe remitir un formulario de inscripción para uso de láseres y figurar en la siguiente lista:

_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Yo certifico que toda la información suministrada es verdadera y correcta. Yo he leído, entendido y cumpliré con los requisitos del Manual de Seguridad para uso de Láseres de la FCEN.

Enviado por: _____
Firma IR

_____/_____/_____
Fecha

Aprobado por: _____
Firma SHyS

_____/_____/_____
Fecha

Se supone que la información que está enviando es coherente con la incluida en el Plan de Protección del Laboratorio. Envíe el formulario al SHyS.

Laser Use Enrollment Application

Name: _____ Office Extension: _____
(Last, First, Middle Initial)

Employee/Student ID: _____ Lab Extension: _____

Date of Birth: _____ Mail Code: _____

Department: _____ LUA #: _____

Principal Investigator: _____ Gender: _____

Eye Exam Date: _____

UCSD Laser Training Date: _____

Status: Faculty / Staff / Student / Other _____

List any education/training specifically applicable to the use of lasers and/or laser systems or laser safety. Include date and location for each.

Proposed Use

List all lasers and laser systems to be used at UCSD:

Manufacturer	Model	Serial Number	Building	Room Number

Project Summary

List prior experience working with lasers and/or laser systems beginning with the most recent.

From: ____/____/____ To: ____/____/____

Employer: _____

Address: _____

Describe Laser Use

Manufacturer	Laser Type	Power	Type of Experiment

From: ____/____/____ To: ____/____/____

Employer: _____

Address: _____

Describe Laser Use

Manufacturer	Laser Type	Power	Type of Experiment

I hereby certify that all information in this statement is true and correct. I have read, understand, and will comply with the requirements of UCSDs Laser Safety Manual.

Submitted by: _____ /____/____
User Signature Date

Approved by: _____ /____/____
Principal Investigator Signature Date

Please send to the Laser Safety Officer at mail code 0920 or fax to 858-534-7982.

Laser Use Authorization Amendment Application

IR: _____ RUA: _____

Lab Manager/Contact: _____ Phone: _____

Personnel

To add, submit a Laser Use Enrollment form and list below:

_____	_____
_____	_____

To delete, list below.

_____	_____
_____	_____

Work Location

To add:

Building	Room Number	Room Use

To Delete:

Building	Room Number	Room Use

Lasers

To add submit a Laser Safety Registration form and list below:

Manufacturer	Model	Serial Number

To Delete:

Manufacturer	Model	Serial Number
--------------	-------	---------------

To add a new project summary, describe:

Submitted by: _____ /_____/_____
Principal Investigator Signature Date

Please send to the Laser Safety Officer at mail code 0920 or fax to 858-534-7982.

Laser Safety Equipment Registration Application

Manufacturer: _____ Serial #: _____

Laser Classification (3a,3b,4): _____ Type of Laser: _____
(i.e.: Argon, HeNe)

Maximum Power: _____ W / _____ J Model: _____

Wavelength: _____ Continuous wave / Pulsed

Laser Status: Active / Inactive / Broken / Other: _____

Shared Between: _____
Name of IR

On Loan From: _____
Department / University

Location (Building and Room Number)

Principal Investigator: _____

Phone: _____

Mail Code: _____

Email Address: _____

Department: _____

I hereby certify that all information in this statement is true and correct.

Submitted by: _____ /_____/_____
IR Signature Date

Approved by: _____ /_____/_____
Department Chair Signature Date

Please send to the Laser Safety Officer at mail code 0920 or fax to 858-534-7982.

Laser Safety Equipment Transfer Application

Manufacturer: _____

Serial Number: _____

Laser Type: _____

Laser Classification: _____

Maximum Power: _____W / _____J

Continuous Wave / Pulsed

Transferred From
(Building and Room Number)

Transferred To
(Building and Room Number)

IR: _____

IR: _____

LUA: _____

LUA: _____

Date: _____

Date: _____

Signature: _____

Signature: _____

Printed Name: _____

Printed Name: _____

Phone Number: _____

Phone Number: _____

(original for UCSD, one copy for each IR)

Envíe el formulario al SHyS.

Referencias

American National Standard for the Safe Use of Lasers (ANSI Z136.1), Laser Institute of America (2000).

American National Standard for the Safe Use of Lasers in Educational Institutions (ANSI Z136.5), Laser Institute of America (2000).

UCSB Laser Safety Manual, University of California, Santa Barbara, (1998).