

## CIRCULAR DE ASESORAMIENTO

CA: 138.008  
FECHA: 05/04/16  
REVISIÓN: ORIGINAL  
EMITIDA POR: D.G.A.C.

### ASUNTO: CONTROL DE EMISIONES LASER

#### Sección A – Propósito

La presente circular de asesoramiento sobre Control de Emisiones Laser en un Aeródromo constituye un documento cuyos textos contienen métodos, e interpretaciones con la intención de aclarar y de servir de guía a los operadores de aeródromos del Estado Plurinacional de Bolivia y para el cumplimiento de los requisitos establecidos en la RAB 138.530.

#### Sección B – Alcance

El alcance está orientado a los siguientes aspectos:

- a. Proporcionar una ayuda a los operadores de aeródromos para la correcta interpretación del requisito RAB 138.530.
- b. Proporcionar lineamientos de como cumplir de una manera aceptable con los requisitos antes listados.

#### Sección C – Introducción

Este circular proporciona lineamientos sobre la utilización de emisiones laser que sean llevadas a cabo en el exterior o que tengan alguna incursión en el espacio aéreo y que pueden ser utilizados principalmente de la siguiente manera:

- a. Uso de láser con propósitos de entretenimiento y demostración: Todos aquellos usos de láser que contemplen exposiciones, espectáculos, muestras, etc.
- b. Uso de láser con propósitos científicos y de investigación: todos aquellos usos de láser que contemplen uso con fines científicos, como enfoque de telescopios, estudios atmosféricos o contemplen uso para investigación.

#### Sección D – Emisiones Láser

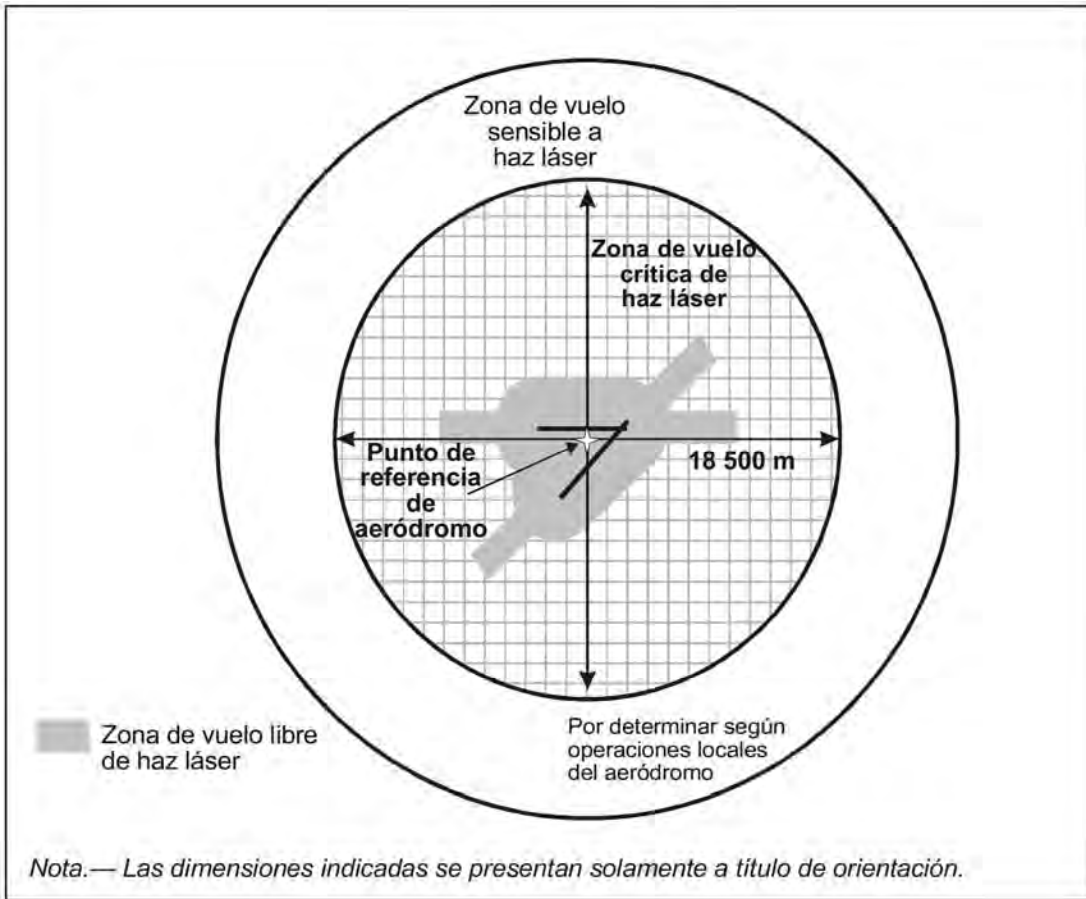
### CAPITULO 1 - SEGURIDAD OPERACIONAL EN EL ESPACIO AÉREO

#### 1. Generalidades

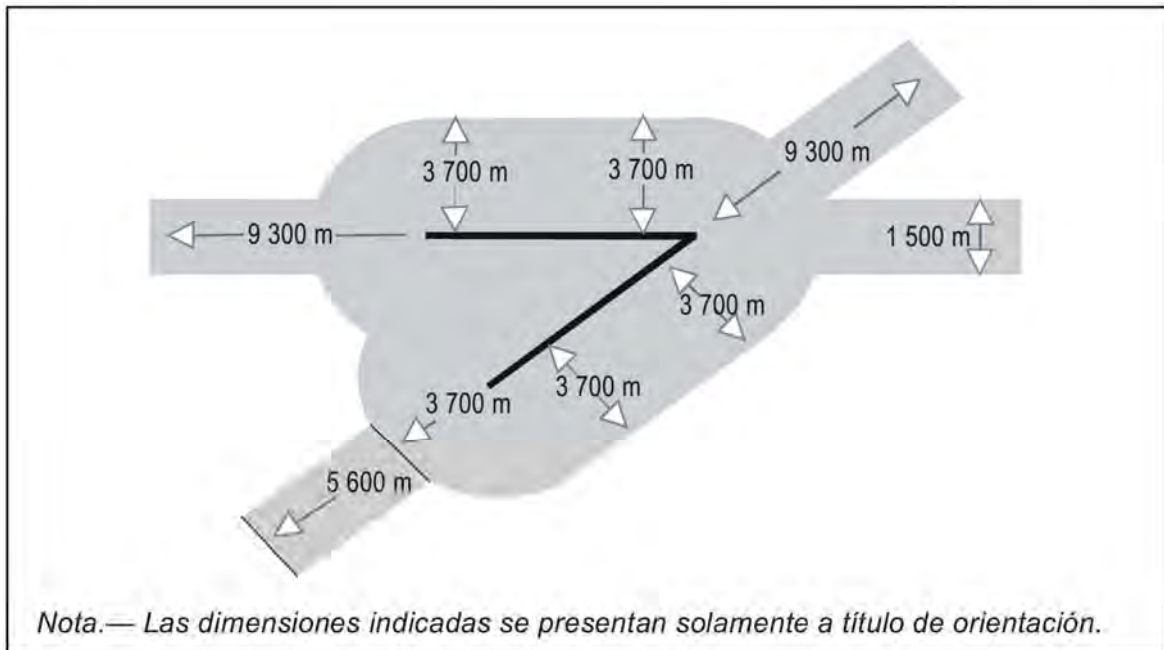
- a. La AAC debe tomar medidas adecuadas, para evitar que las emisiones de los rayos láser afecten negativamente a las operaciones de vuelo. Entre esas medidas, los Estados deben tender a incluir en sus regulaciones, disposiciones que impidan que:
  1. Cualquier persona dirija intencionalmente, una proyección de un haz láser o de otra luz de alta intensidad, a una aeronave, de tal modo que, cree un peligro para la seguridad de la aviación, daños a la aeronave o lesiones a su tripulación o pasajeros.
  2. Cualquier persona utilice o prevea utilizar láseres u otras luces de alta intensidad dirigidas al exterior, de tal manera que el haz láser u otro haz luminoso pueda penetrar en el espacio aéreo, con suficiente potencia para ocasionar un peligro de aviación, lo puedan realizar sin correspondiente autorización por escrito, de la autoridad competente.
  3. Cualquier piloto al mando, realizará deliberadamente operaciones con una aeronave hacia un haz láser o hacia otro haz luminoso de alta intensidad dirigido, a no ser que esté protegida la seguridad del vuelo.

## 2. Restricciones del espacio aéreo

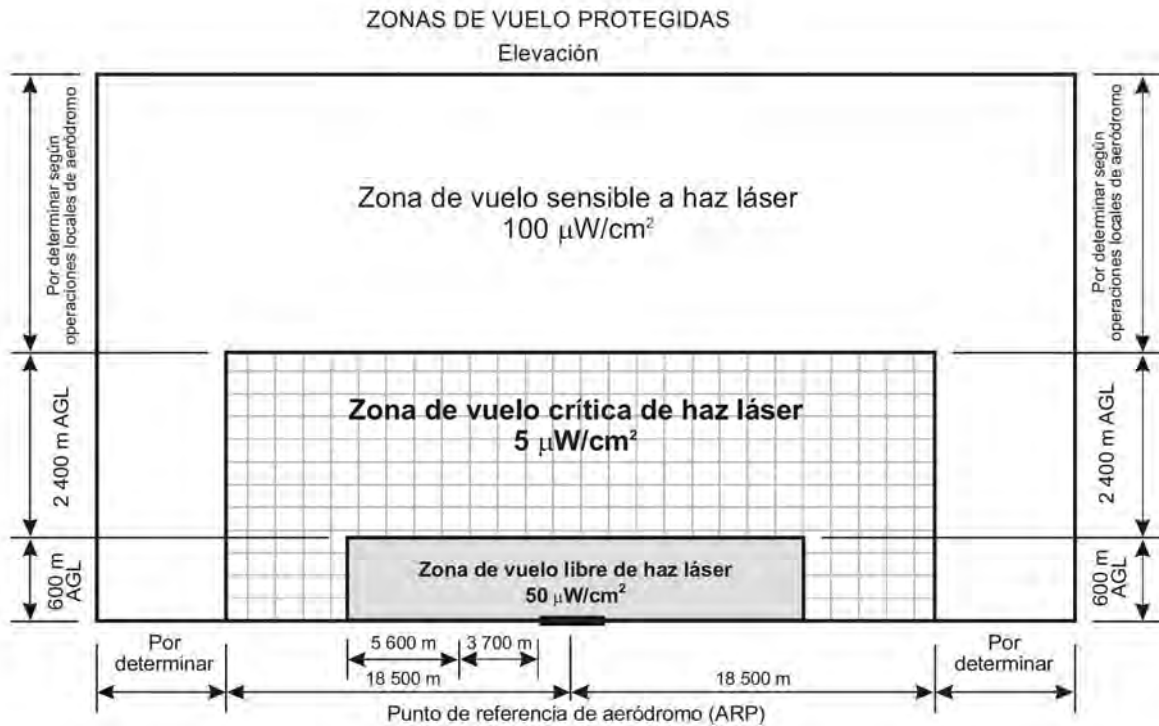
- a. Para proteger la seguridad de la aviación en las cercanías de los aeródromos, de los helipuertos y de algunas otras zonas tales como los corredores para aeronaves con reglas de vuelo visual (VFR) a poca altura, se debe proteger el espacio aéreo susceptible de ser afectado por haces láser peligrosos.
- b. El espacio aéreo alrededor de los aeródromos se debe clasificar en zonas, a fin de impedir que los haces láser visibles interfieran en la visión del piloto, incluso si no se excede de la exposición admisible máxima (MPE), de la siguiente manera:
  1. zonas de vuelo libres de rayos láser ;
  2. zonas de vuelo críticas de rayos láser; y
  3. zonas de vuelo sensibles de los rayos láser
- c. El haz de un láser visible no debe penetrar en ninguna de las zonas indicadas en el párrafo anterior, si la irradiación es superior al nivel de interferencia visual correspondiente, a no ser que se empleen medios adecuados de protección para impedir la exposición del personal y/o equipamiento de las aeronaves que resulte sensible a dichas emisiones.
- d. Los láseres con irradiaciones de haz inferiores a la MPE, pero que excedan del nivel sensible o del nivel crítico pueden ser autorizados para funcionar en la zona sensible o en la zona crítica, respectivamente, siempre que se utilicen medios adecuados para impedir que las aeronaves entren en la trayectoria del haz.
- e. **Zona de vuelo libre de rayos láser (LFFZ).** Es la parte del espacio aéreo en las proximidades inmediatas del aeródromo; hasta e incluyendo una altura de 600 m (2 000 ft) por encima del nivel del suelo (AGL), prolongándose a 3 700 m (2MN) en todas las direcciones, medidos desde el eje de la pista, más una prolongación de 5 600 m (3 MN), 750 m (2 500 ft) a cada lado de la prolongación del eje de cada una de las pistas utilizables. Dentro de esta zona se restringe la intensidad de la luz láser, a un nivel de perturbación visual improbable. Las siguientes condiciones se aplican a la LFFZ:
  1. Las pistas paralelas se miden desde el eje de la pista, hacia los márgenes más alejados, más el espacio aéreo entre los ejes de pista.
  2. Dentro de este espacio aéreo, la irradiación no excederá 50 nW/cm<sup>2</sup>, excepto que se aplique alguna forma de mitigación. El nivel de brillo así producido, no se distingue de la luz ambiente de fondo.
  3. Para permitir operaciones láser por debajo de la trayectoria de llegada, se debe aplicar por lo menos una pendiente de 1:60 a las prolongaciones de 5600 m. Esta pendiente se calcula a partir de franja de la pista.
- f. **Zona de vuelo crítica de los rayos láser (LCFZ).** Es el espacio aéreo hasta una distancia de 18 500 m (10 NM) del punto de referencia de aeródromo (ARP), desde la superficie hasta e incluyendo una altura de 3 050 m (10 000 ft) AGL (véanse las **Figuras D-1-1, D-1-2 y D-1-3**). Dentro de este espacio aéreo la irradiación no excederá de 5 µW/cm<sup>2</sup>, excepto que se aplique alguna forma de mitigación. Esta irradiación, aunque es capaz de causar efectos de deslumbramiento, no producirá ningún nivel de brillo suficiente para causar ceguera de destellos o efectos de imágenes secundarias.
- g. **Zona de vuelo sensible de los rayos láser (LSFZ).** Es la parte del espacio aéreo fuera de la zona de vuelo libre de rayos laser (LFFZ) y de la zona de vuelo crítica de rayos laser (LCFZ) en que la irradiación no excederá 100 µW/cm<sup>2</sup>, excepto que se aplique alguna forma de mitigación. El nivel de brillo así producido, puede empezar a causar ceguera de destellos o efectos de imágenes secundarias de corta duración; sin embargo; este límite proporcionará protección frente a efectos graves y será definido teniendo en cuenta las operaciones del aeródromo.



**Figura D-1-1. Zonas de vuelo protegidas**



**Figura D-1-2. Zona de vuelo libre de haz láser para pistas múltiples (LFFZ)**



**Figura D-1-3. Zonas de vuelo protegidas con indicación de niveles máximo de irradiación para haces láser visibles**

- h. La magnitud del espacio aéreo afectado por alguna operación láser, varía con la potencia de salida de los sistemas láser, la cual se mide en vatios o joules. En consecuencia, se utilizarán los siguientes niveles de irradiación máxima (MIL), para evaluar actividades láser en las proximidades inmediatas de un aeródromo:
1. LFFZ: MIL igual o inferior a  $50 \text{ nW}/\text{cm}^2$
  2. LCFZ: MIL igual o inferior a  $5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$
  3. LSFZ: MIL igual o inferior a  $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

## CAPÍTULO 2 - REQUERIMIENTOS PARA OPERACIONES LÁSER EN EL EXTERIOR

### 1. Autoridad y Regulaciones

La AAC será la autoridad encargada de regular, controlar, desarrollar la planificación y formular la normativa con respecto al uso de láser en el exterior, o que tengan alguna incursión en el espacio aéreo.

### 2. Normativa para uso de láseres al exterior

- a. Como se muestra en las **Figuras D-1-1, D-1-2 y D-1-3**, existen restricciones para el uso de láser en el espacio aéreo, estas restricciones se detallan en el **capítulo 1, sección 2 punto g**. Las autorizaciones de propuestas de uso láser que sobrepasen estas restricciones, solo se otorgarán a propuestas de uso del láser con fines científicos y/o de investigación.

**b. El procedimiento a utilizar en caso de no sobrepasar los límites definidos para cada zona de vuelo, debería contemplar los siguientes conceptos:**

1. Cualquier persona/institución que desee operar láseres en el exterior, o que tengan alguna proyección o incursión en el espacio aéreo, y que no sobrepase los límites establecidos en el **capítulo 1, sección 2, punto h** del presente circular, notificara a la autoridad competente, a través del formulario de aviso de propuesta para realizar operaciones láser al exterior, adjunto en el **Adjunto A**, y someterse al proceso de aprobación de propuesta que determine la AAC.
2. La notificación a través del formulario de autorización para realizar operaciones láser al exterior debería ser presentada a la AAC con al menos 20 días hábiles antes de la fecha prevista para la emisión de éste tipo de autorización. La AAC debería entregar una respuesta formal, en un plazo de 5 días hábiles, desde la fecha de recepción de la propuesta.
3. La persona/institución debería ser responsable de proveer de toda la información necesaria y que pueda ser relevante para el estudio de la propuesta, según los requisitos que establezca la AAC, dentro de los plazos establecidos.

**c. El procedimiento a utilizar en caso de sobrepasar los límites definidos para cada zona de vuelo, debe contemplar los siguientes conceptos**

1. Cualquier persona/institución que desee operar láseres en el exterior, o que tengan alguna incursión en el espacio aéreo, y que sobrepasen los límites establecidos en el punto **1.2.h** del presente circular, deberían notificar a la AAC a través del modelo de formulario de autorización para realizar operaciones láser al exterior, adjunto en el **Adjunto A**, y someterse al proceso de aprobación establecido por a AAC.
2. La notificación a través del formulario de autorización para realizar operaciones láser al exterior, debería ser presentada a la AAC con al menos 20 días hábiles, antes de la fecha prevista para la emisión de éste tipo haces. La AAC debería entregar una respuesta formal, en un plazo de 5 días hábiles, desde la fecha de recepción de la propuesta.
3. En caso de rechazo de la propuesta, el solicitante contará con un plazo máximo de 2 días hábiles para apelar a la resolución, y de 5 días hábiles para realizar las modificaciones necesarias, siendo la AAC la encargada de autorizar o denegar la propuesta, luego de que las modificaciones necesarias sean realizadas.
4. La persona/institución debería ser responsable de proveer de toda la información necesaria y que pueda ser relevante para el estudio de la propuesta, según los requisitos que establezca la AAC, dentro de los plazos establecidos.
5. Las determinaciones de la AAC, se deberían basar en las conclusiones obtenidas luego de la realización de un estudio aeronáutico, que será llevada a cabo por un Inspector/especialista debidamente calificado, debiéndose, en caso de considerarse necesario, realizar una inspección in situ de emplazamiento de la propuesta.
6. La AAC debería realizar una evaluación aeronáutica de todas las propuestas de operación láser en el exterior, o que tengan alguna incursión en el espacio aéreo, para asegurar que este tipo de operaciones no tengan un efecto perjudicial a la seguridad operacional del espacio aéreo, en la cual deben intervenir todas las áreas con competencia en las causas o las consecuencias de este tipo de emisiones, sobre la aviación.
7. Cada configuración láser a utilizar, debería contar con un sistema físico en el emplazamiento o a distancia, que impida que el haz láser sea dirigido a zonas protegidas.
8. En consecuencia, para lograr soluciones equitativas en cuanto a las operaciones láser en el espacio aéreo, debe quedar claro que la preservación de la seguridad operacional es la prioridad.

9. Todos los emplazamientos que utilicen algún sistema láser que sobrepase los valores máximos permitidos y que tengan autorización para operar, deberán contar con un plan de contingencia o procedimiento de interrupción de la emisión del haz láser al espacio aéreo, en caso de considerarse que se pueden producir o cuando efectivamente se afecten las operaciones aéreas, el cual debe ser aceptable a la AAC.

### CAPÍTULO 5 - DISPOSICIONES FINALES

- a. Las zonas de vuelo protegidas cercanas a los aeropuertos deben ser establecidas por la AAC en coordinación con el operador de aeródromo, en base a estudios aeronáuticos que evalúen condiciones tales como los procedimientos de vuelo de entrada y salida vigentes, condiciones meteorológicas predominantes, situación geográfica, condiciones del entorno urbano del aeródromo, comportamiento del tráfico aéreo habitual en el aeródromo, etc.
- b. Para evitar conflictos con los permisos de emisión láser en las operaciones aéreas en aeropuertos situados cerca de las fronteras internacionales, las AAC de los Estados, conjuntamente con los operadores de los aeropuertos afectados, establecer sus zonas de vuelo protegidas mediante carta de acuerdo operativo.
- c. Tales acuerdos deberán especificar todas las condiciones para expedir permisos de emisión láser adoptada por cada una AAC, así como descripciones de las zonas protegidas de los aeropuertos afectados.

  
Gral. Brig. Aé. Edgar Pereyra Quiroga  
DIRECTOR EJECUTIVO a.i.  
Dirección General de Aeronáutica Civil



**ADJUNTO A. FORMULARIO DE AUTORIZACION PARA REALIZAR OPERACIONES LÁSER**

A: (autoridad competente)		DE: (solicitante)	Fecha del informe:
<b>1. INFORMACION GENERAL</b>			
Suceso o instalación			
Dirección del emplazamiento:			
<b>LUGAR GEOGRAFICO</b>			
Latitud ____grado(º) ____min (') ____seg (")	Elevación del láser sobre tierra (si está en un edificio)	Determinado por: GPS <input type="checkbox"/> Mapa <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/> (especificar)_____	
<b>FECHA Y HORAS DE OPERACIONES LÁSER</b>			
Pruebas y alineación		Operaciones	
<b>2. DESCRIPCIÓN BREVE DE LAS OPERACIONES</b>			
<b>3. INFORMACIÓN SOBRE LAS OPERACIONES EN EL EMPLAZAMIENTO</b>			
Operadores			
Teléfono del lugar # 1		Teléfono del lugar # 2	
<b>DESCRIPCIÓN BREVE DE LAS MEDIDAS DE CONTROL</b>			
<b>4. ADJUNTO</b>			
Número de configuraciones láser [Llene un ejemplar del Adjunto B, de este Apéndice para cada configuración			
Presente una lista de otros adjuntos necesarios para evaluar esta operación (detalle de medidas de control, mapas, diagramas, etc.)			
<b>5. PERSONA DESIGNADA PARA CONTACTOS</b>			
Nombre		Cargo	
Teléfono	Fax	Correo electrónico	

*Nota. Se anexara a este documento la información sobre las características técnicas del equipo que se va utilizar*

## INSTRUCCIONES PARA COMPLETAR EL ADJUNTO A FORMULARIO DE AUTORIZACION PARA REALIZAR OPERACIONES LÁSER

La AAC utilizará la información que figura en el presente formulario para realizar un estudio aeronáutico conducente a evaluar la seguridad de una operación láser propuesta. Es obligación del explotador láser proveer de toda la información que la autoridad pudiera requerir para realizar el estudio. Si fueran necesarios otros detalles, indíquelos en la sección 'Adjuntos' del presente formulario.

**A:** Ingrese nombre y dirección de la Oficina de la autoridad competente responsable de la zona que incluye el emplazamiento de operación láser.

**De:** Ingrese nombre, dirección, teléfono y correo electrónico del solicitante. Esta es la parte primariamente responsable de la seguridad del láser en esta operación. En algunos casos, el solicitante es un fabricante o un organismo gubernamental y el láser está situado en un sitio distinto. En tal caso, indique la lista de solicitantes en este lugar; el lugar del emplazamiento se completa en otra parte del formulario.

**Fecha del informe:** Esta es la fecha en que el informe ha sido preparado o enviado a la autoridad. No es la fecha de operación del láser.

### 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Suceso e instalación:** Ingrese el nombre del suceso (para espectáculos temporales) o el nombre de la instalación (para instalaciones permanentes).

**Cliente:** Si el usuario láser es distinto del solicitante, complete la sección 'cliente'; de no ser así, complete con 'el mismo que el solicitante'.

**Dirección del emplazamiento:** Calle, ciudad, provincia y región.

### LUGAR GEOGRÁFICO

**Latitud y Longitud:** Compruebe que la latitud y longitud se han especificado en grados, minutos y segundos. En algunos mapas y dispositivos puede presentarse esta información como *grados, decimales*; esto debe convertirse a *grados, minutos y segundos*.

**Elevación sobre el suelo del emplazamiento:** Esta es la elevación en pies o metros por encima del nivel medio del mar en el emplazamiento del evento. Puede consultarse un mapa topográfico u otra fuente.

**Elevación del láser por encima del suelo:** Si el láser se encuentra en un edificio o en otra estructura elevada, indique la altura del láser en pies o metros por encima del suelo.

*Nota.- En el caso de láseres en aeronaves o naves espaciales, adjunte información sobre los lugares y altitudes de vuelo.*

### FECHAS Y HORAS DE OPERACIÓN LÁSER

**Pruebas y alineación:** Ingrese las fechas y horas durante las cuales tuvieron o tendrán lugar las pruebas y los procedimientos de alineación.

**Operación:** Ingrese las fechas y horas durante las cuales la luz láser penetrará en el espacio aéreo.

### DESCRIPCIÓN BREVE DE LA OPERACIÓN

Esta será una reseña general. Se describe con detalle las configuraciones específicas de la operación láser utilizándose el formulario de 'Configuración Láser'. De ser necesario, adjunte páginas adicionales.



## 2. INFORMACIÓN SOBRE LA OPERACIÓN EN EL EMPLAZAMIENTO

**Operadores:** Nombre o cargo de los explotadores.

**Teléfonos en el emplazamiento:** Debe existir al menos un enlace telefónico directo en funcionamiento para enlaces con el explotador o un modo equivalente de comunicarse rápidamente con él (Por ejemplo, telefoneando a una estación central que esté en comunicación con el explotador por radio). Se indican en el formulario dos números de teléfono de forma que uno pueda utilizarse como alternativa o reserva.

### DESCRIPCIÓN BREVE DE LAS MEDIDAS DE CONTROL

Describa las medidas de control empleadas para proteger el espacio aéreo; por ejemplo, terminación de un edificio (cuando la trayectoria del haz no es accesible por aeronaves, incluidos helicópteros), uso de observadores, uso de equipo radar y de formación de imágenes, métodos físicos de limitar la trayectoria del haz, etc., cuanto más dependa la operación de medidas de control para garantizar la seguridad, más detallada debería ser la descripción.

## 3. ADJUNTOS

**Número de configuraciones láser:** Indique una lista del número de *configuraciones láser* que presenta con esta propuesta. Si un emplazamiento particular funciona con más de un láser con distintas características de haz (reglajes de potencia, modos de impulsos, divergencia, etc.), o hay múltiples dispositivos de salida (Por ejemplo, colimadores de proyección), entonces cada una será analizada como una configuración láser separada utilizando el formulario de *Configuración Láser*.

**Lista de adjuntos adicionales:** Pudiera requerirse que añada adjuntos tales como mapas, diagramas y detalles de medidas de control. Incluya cualesquier material que juzgue necesario para prestar asistencia a la autoridad en evaluar de modo adecuado su propuesta.

## 4. PERSONA DESIGNADA PARA CONTACTOS

Es la persona con la que se pondrá en contacto, la autoridad, si se requiere información adicional. Será la persona con más conocimientos acerca de la operación del láser. Sin embargo, pudiera también ser una persona que centralice los contactos, que se comunique con la autoridad y con el personal de funcionamiento del láser. La persona designada para contactos, debe trabajar para el solicitante que figura en la casilla **Desde** en la parte superior del formulario, o bien, representarlo.

### DECLARACIÓN DE PRECISIÓN

La persona designada para contactos deberá firmar el formulario. Sin embargo, en algunos casos la responsabilidad de la precisión de la información le incumbe a otra persona, tal como un oficial de seguridad láser que no actúa como persona de contacto. Por consiguiente, la persona que tenga la autoridad de establecer el contacto con el solicitante firmara el formulario.



## ADJUNTO B. FORMULARIO DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CONFIGURACIÓN LÁSER

Llene un ejemplar de este formulario para cada láser o configuración láser utilizado en el emplazamiento.

<b>1. INFORMACIÓN SOBRE CONFIGURACIÓN</b>			
Nombre del suceso/instalación	Esta página es el número de configuración ____ de ____	Fecha del informe	
Descripción breve de la configuración			
<b>2. CARACTERÍSTICAS Y CÁLCULOS DEL HAZ</b>			
Modo de operación	<input type="checkbox"/> Un solo impulso	<input type="checkbox"/> Onda continua	<input type="checkbox"/> Impulsos repetitivos
Tipo de láser ( <i>Medio Láser</i> )			
Potencia <i>Watts (W)</i>	(no aplicable)	Máxima potencia	Potencia promedio
Energía por impulsos, <i>Joules (J)</i>		(no aplicable)	
Anchura de impulsos, <i>Segundos (s)</i>		(no aplicable)	
Frecuencia de repetición de impulsos, <i>Hertz (Hz)</i>	(no aplicable)	(no aplicable)	
Diámetro del haz a puntos 1/e, <i>Centímetros (cm)</i>			
Divergencia 1/e del haz en ángulo completo, <i>Miliradianes (mrad)</i>			
Longitudes de onda, <i>Nanómetros (nm)</i>			
<b>CÁLCULOS DE EXPOSICIÓN ADMISIBLE MÁXIMA (MPE)</b> (se utilizará para calcular NOHD)			
MPE, $W/cm^2$	(no aplicable)		
MPE por impulsos, $J/cm^2$		(no aplicable)	
<b>CÁLCULOS DEL EFECTO VISUAL</b> (se utilizará solamente para láseres visibles a fin de calcular SZED, CZED y LFED)			
Potencia precorregida (PCP), <i>Watts (W)</i>	Energía por impulsos (J) x 4	Potencia máxima (de lo anterior)	Potencia promedio o energía por impulsos (J) x PRF (Hz)
Factor de corrección visual (VCF), <i>Complete con '1,0' o utilice la Tabla B-5</i>			
Potencia visualmente corregida $PCP \times VCF$			

D.G.A.C.

<b>3. DIRECCIONES DEL HAZ</b>			
Azimut (grados) <input type="checkbox"/> Verdaderos <input type="checkbox"/> Magnéticos		Declinación magnética (grados)	
Ángulo de elevación mínima (grados, cuando la horizontal = 0)		Ángulo de elevación máxima (grados)	
<b>4. DISTANCIAS CALCULADAS A PARTIR DE LOS DATOS PRECEDENTES</b>			
Complete las tres columnas para NOHD. Si se trata de un láser visible, complete las tres columnas para SZED, CZED y LFED.	Distancia oblicua, (ft)	Distancia horizontal, (ft)	Distancia vertical, (ft)
<b>DISTANCIA NOMINAL DE PELIGRO OCULAR</b>			
NOHD (en base a MPE)			
<b>DISTANCIA DEL EFECTO VISUAL</b> Si el láser no tiene longitudes de onda en la gama visible (400 a 700 nm), ingrese 'N/A' en todas las casillas siguientes.			
SZED (para nivel de 100, $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )			
CZED (para nivel de 5 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )			
LFED (para nivel de 50 $\eta\text{W}/\text{cm}^2$ )			
<b>5. MÉTODO DE CÁLCULO</b>			
<input type="checkbox"/> Soporte lógico comercial (ponga en letras impresas el nombre del producto)		<input type="checkbox"/> Otros [plantilla de cálculos, calculadora, etc.]	

## INSTRUCCIONES PARA COMPLETAR EL ADJUNTO B

### CONFIGURACIÓN LÁSER

Una sola operación al exterior, puede tener varios láseres o configuraciones láser – reglajes de potencia, modos de impulsos, divergencia, etc. En el formulario de aviso de propuesta, en la primera hilera de la tabla de ‘Adjuntos’ ingrese el número de configuraciones distintas de láser para operación al exterior. Seguidamente, complete el formulario de configuración láser para cada una de las diversas configuraciones que han de analizarse.

**Análisis de alternativa:** Este formulario y las tablas adjuntas cubrieron una gran variedad de configuraciones láser. Están necesariamente simplificados y en ellos se aplican hipótesis prudentes. Algunas configuraciones láser pueden exigir un análisis más complejo. Tal análisis de alternativa, se basara en métodos establecidos. Se presentaran documentos acerca de los métodos y de los cálculos.

#### 1. INFORMACIÓN SOBRE CONFIGURACIÓN

**Descripción breve de la configuración:** Describa el haz proyector o el sistema de direccionamiento. Incluya la descripción de la configuración del emplazamiento. Adjunte información adicional si requiere más espacio.

#### 2. CARACTERÍSTICAS Y CÁLCULOS DEL HAZ

En esta sección se requieren datos acerca de las características del haz láser. Los datos pueden obtenerse por medición directa, especificaciones del fabricante o instrumentos especializados.

**Modo de operación:** Determine el modo de operación para esta configuración (único impulso, onda continua o impulsos repetitivos). Marque la columna apropiada y complete solamente esta columna para el resto de esta sección de características y cálculo del haz.

- **Un solo impulso:** Láseres que producen un solo impulso de energía con una anchura de impulso  $< 0,25$  segundos o una frecuencia de repetición de impulsos  $< 1$  Hz.
- **Onda continua:** Láser que produce una salida continua (no por impulsos) por un periodo  $\geq 0,25$  segundos.
- **Impulsos repetitivos:** Láseres que producen impulsos repetidos de energía a una frecuencia de 1 Hz o más rápida.

**Nota sobre impulsos repetitivos por comparación con exploración:** Los impulsos repetitivos se refieren a láseres que emiten naturalmente impulsos repetitivos, tales como láseres de Q- conmutados. No se pretende que en el formulario y las tablas sean para analizar impulsos debido a la exploración del haz sobre un observador o una aeronave (ejemplos: gráficos o pautas de haz utilizados en espectáculos láser; configuraciones exploradas utilizadas para LIDAR). Los impulsos resultantes de la exploración son frecuentemente de una variación extrema en cuanto a anchura y duración de impulsos. Por consiguiente, para un análisis prudente supóngase que el haz es estático (no explorado). Si dependiera de la exploración para el cumplimiento debe 1) proporcionar un análisis más completo, presentar documentos sobre sus métodos y cálculos y 2) presentar documentos y utilizar dispositivos de protección en caso de falla de la exploración.

**Tipo de láser:** Ingrese el medio láser, por ejemplo, Argón, Nd:YAG, Vapor de cobre, etc.

**Potencia:** Si se trata de un láser de onda continua (columna 2), complete la potencia en watts. Si se trata de un láser por impulsos repetitivos (columna 3), complete el promedio de potencia en watts [energía por impulsos (J) x frecuencia de repetición de impulsos (Hz)]. Para ambos tipos de potencia, esta es la potencia máxima durante la operación que penetra el espacio aéreo.

Por razón de simplicidad y seguridad, puede completar con un valor superior (p. ej., la potencia máxima del láser); de este modo se hace caso omiso de cualquier pérdida adicional en los componentes ópticos del trayecto del haz, antes de que el haz penetre en el espacio aéreo.

**Energía y anchura de los impulsos:** Si se trata de un láser de un solo impulso (columna 1) o láser de impulsos repetitivos (columna 3), complete la energía de impulsos en joule y la anchura de los impulsos en segundos. Esta es la potencia máxima que penetra en el espacio aéreo.

Por razón simplicidad y seguridad, puede completar con un valor superior (p. ej., la potencia máxima del láser); de este modo se hace caso omiso de cualesquier pérdida adicional en los componentes ópticos del trayecto del haz, antes de que el haz penetre en el espacio aéreo.

**Diámetro del haz:** Proporcione el diámetro del haz utilizando los puntos 1/e de irradiación máxima.

*Nota.- El diámetro se expresa frecuentemente en milímetros, sin embargo en este formulario se debe expresar en centímetros.*

**Divergencia del haz:** La divergencia del haz es el ángulo completo dado en los puntos 1/e. Si conoce el diámetro o la divergencia medida en los puntos 1/e<sup>2</sup>, multiplique por 0,707 para convertir a diámetro 1/e o a divergencia.

*Nota.- Las mediciones del diámetro y de la divergencia pueden ser complejas. Puede utilizar hipótesis a fin de simplificar con fines de seguridad. Es más seguro suponer que la divergencia del haz es más pequeña de lo que es en realidad.*

**Longitudes de onda:** Ingrese las longitudes de onda de la luz láser que penetra en el espacio aéreo.

Si el láser emite múltiples longitudes de onda, habrá de analizarse por separado cada longitud de onda para averiguar sus valores de MPE y NOHD. Además, para láseres que emiten longitudes de onda visible, cada longitud de onda debe ser analizada por separada para obtener las distancias de efecto visual (SZED, CZED y LFED). Se describe con más detalle este proceso en las siguientes instrucciones para distancias de efecto visual.

*En todos los casos de múltiples longitudes de onda, debe presentar documentos acerca de sus métodos y cálculos. Si no analiza por completo todas las longitudes de onda, entonces debe indicar explícitamente sus hipótesis de simplificación prudentes.*

### **CÁLCULO DE LA EXPOSICIÓN ADMISIBLE MÁXIMA (MPE)**

**MPE y MPE por impulsos:** Proporcione los resultados del cálculo de la exposición admisible máxima (MPE) en la casilla aplicable. Esto se utilizará más tarde para determinar la distancia nominal de peligro ocular (NOHD).

Para averiguar la MPE, utilice las **Tablas B-1 a B-4** según lo descrito a continuación. Si requiere niveles más prudentes utilice las series de normas del Instituto Nacional Americano de Normas (ANSI) Z136 u otros métodos establecidos, que deben estar acompañados de documentación que avale los cálculos utilizados.

- **Un solo impulso (columna 1):** Utilice la **Tabla B-1** para obtener la MPE. Complete la casilla MPE por impulsos en la columna de un solo impulso.
- **Onda continua (columna 2):** Utilice la **Tabla B-2** para obtener la MPE. Complete la casilla MPE en la columna de onda continua.
- **Impulsos repetitivos:** Los láseres que producen impulsos repetitivos de energía pueden causar un peligro adicional mayor que el de un láser de un solo impulso o de onda continua. Se ajusta MPE para láseres de impulsos repetitivos en base a sus frecuencias de repetición de impulsos. Se designa MPE ajustada como MPE<sub>PRF</sub>, este

puede determinarse utilizando ya sea la energía por impulsos o el promedio de potencia. A continuación se presentan los métodos simplificados para determinar la  $MPE_{PRF}$  respecto a:

- a. Longitudes de onda ultravioleta: Véase la serie del Instituto Nacional Americano de Normas ANSI Z136.
- b. Longitudes de onda visibles: Utilice la **Tabla B-3** para determinar la  $MPE_{PRF}$ . A los resultados de la **Tabla B-3** se ha aplicado ya el factor de corrección para la MPE de CW. Complete la casilla MPE en la columna de impulsos repetitivos.
- c. Longitudes de onda de infrarrojo:
  1. Utilice la **Tabla B-2** para obtener el MPE de CW.
  2. Utilice la **Tabla B-4** para obtener el factor de corrección por repetición de impulsos de infrarrojo.
  3. Multiplique la MPE de CW por el factor de corrección por repetición de impulsos de infrarrojo para obtener la  $MPE_{PRF}$ . Complete la casilla MPE en la columna de impulsos repetitivos.

**Nota para los láseres de impulsos repetitivos:** En los métodos simplificados de las **Tablas B-2 a B-4** se utiliza el promedio de potencia para determinar MPE en  $W/cm^2$ . Es posible con otros métodos utilizar la energía de impulsos para determinar la MPE por impulso en  $J/cm^2$ . Solamente se requiere uno de los dos valores MPE.

#### **CALCULOS DEL EFECTO VISUAL (solamente para láseres visibles)**

Si el láser no tiene ninguna longitud de onda en la gama visible (400-700 nm), complete con N/A-láser no visible en estas casillas y pase a la sección Dirección del haz.

Para láseres visibles, inquietan a la autoridad los haces que son seguros para el ojo (por debajo de MPE), pero de brillo suficiente para distraer a las tripulaciones de vuelo. De conformidad con la RAB 138, se han establecido, zonas de vuelo sensibles a haz láser, críticas de haz láser y libres para haz láser, en las que las aeronaves no deberán estar expuestas a luces de intensidad superior a:  $100 \mu W/cm^2$ ,  $5 \mu W/cm^2$  y  $50 nW/cm^2$  respectivamente. Considerando que el brillo aparente varía en función de la longitud de onda, el verde es más visible que el rojo o el azul, podrá aplicarse un factor de corrección visual. Esto tiene el efecto de permitir más potencia para los haces rojo y azul que para los haces verdes. En relación con cualquier haz visible se deben presentar los cálculos del efecto visual.

**Potencia pre corregida:** La PCP es la potencia antes de que se aplique cualquier factor de corrección visual. El método para determinar la PCP depende del tipo de láser que esté utilizando:

- **Un solo impulso (columna 1):** Multiplicar la energía por impulso (J) por 4, y completar el valor en el formulario.

*Nota.- En esta técnica se promedia la energía por impulso.*

- **Onda continua (columna 2):** La potencia pre corregida es la misma que la potencia máxima del láser. Complete con el mismo valor de la casilla 'Potencia (W)' del formulario.
- **Impulsos repetitivos (columna 3):**
  - a. Si completó la casilla de potencia (W) del formulario, utilice ese valor.
  - b. Si completó la casilla de energía por impulsos (J) en el formulario, multiplique ese valor por la frecuencia de repetición de impulsos (Hz) para determinar el promedio de la potencia.

**Factor de corrección visual y Potencia visualmente corregida:** En el factor de corrección visual se tiene en cuenta el brillo aparente del haz que varía en función de la longitud de onda. Una vez obtenido este factor, puede determinar la potencia visualmente corregida. Tiene también la opción de utilizar otros métodos, dependiendo de la precisión que desee obtener.

- Para el análisis más sencillo y más prudente de un haz de un solo impulso o de longitud de onda múltiple: suponga que no hay factor de corrección – el láser está al brillo aparente máximo (Factor de corrección visual de 1,0). En la casilla de factor de corrección visual del formulario ingrese '1,0 (supuesto)'. En la casilla de potencia visualmente corregida complete con el mismo valor que utilizó para la potencia pre corregida.
- Para un haz de una sola longitud de onda: Obtenga el factor de corrección visual utilizando la **Tabla B-5**. Para obtener la potencia visualmente corregida, multiplique el factor de corrección visual por la potencia pre corregida.
- Para un haz de múltiples longitudes de onda: Opte por uno de los métodos siguientes:
  - a. Incorpore una hipótesis de simplificación prudente. Utilice la **Tabla B-5** para determinar cuál es la longitud de onda que tenga el máximo factor de corrección visual (el más visible). Ingrese este valor en la casilla del formulario para factor de corrección visual. Para obtener la potencia visualmente corregida, multiplique este factor de corrección visual por la potencia pre corregida del láser (todas las longitudes de onda).

*Nota.- Debe adjuntar los datos y cálculos que demuestren la forma por la que obtuvo la potencia visualmente corregida.*

- b. Analice cada longitud de onda por separado, y súmelas. En primer lugar determine la potencia pre corregida para cada longitud de onda. Seguidamente, utilice la **Tabla B-5** para obtener el factor de corrección visual correspondiente a cada longitud de onda. Multiplique cada potencia pre corregida de longitud de onda por su factor de corrección visual para obtener la potencia visualmente corregida (VCP) correspondiente a esa longitud de onda. Sume todos los valores de VCP para determinar la VCP total. Ingrese la VCP total en la casilla de Potencia visualmente corregida del formulario.

*Nota.- Debe adjuntar los datos y cálculos que demuestren la forma por la que obtuvo la potencia visualmente corregida.*

### 3. DIRECCIONES DEL HAZ

Proporcione las direcciones a las que apuntan las proyecciones del haz en esta configuración.

**Azimut:** Si el haz se mueve horizontalmente durante la operación, ingrese la gama de movimientos en la casilla Azimut (Por ejemplo, de 20 a 50°). Compruebe que indica la gama en sentido de las agujas del reloj. Especifique si el ángulo azimut es lectura verdadera o magnética.

**Declinación magnética:** Proporcione la declinación para el lugar si es conocida. Esto debe hacerse si marca la casilla magnética o si está utilizando una brújula magnética como parte de sus medidas de control.

### 4. DISTANCIAS CALCULADAS A PARTIR DE LOS DATOS PRECEDENTES

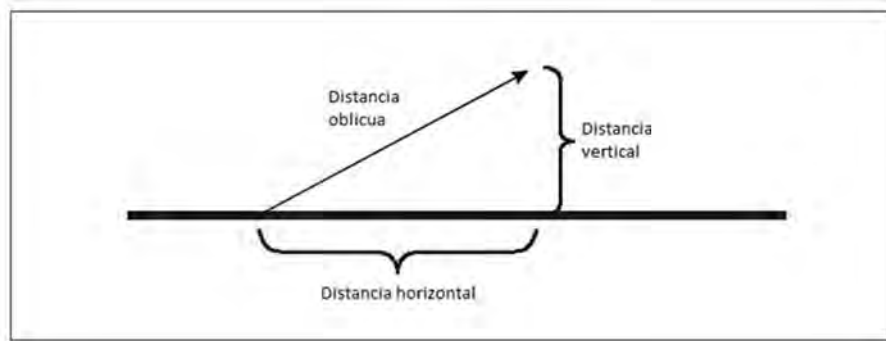
Hay cuatro distancias que son importantes para evaluar la seguridad de operaciones en el exterior. Aquí se presentan breves definiciones:

- Distancia **nominal de peligro ocular (NOHD):** El haz es un peligro para el ojo (está por encima de la MPE), desde la fuente láser a esta distancia.



- Distancia **de exposición a zona sensible (SZED)**: El haz es lo suficientemente brillante para causar una visión temporal defectuosa, desde la fuente del láser hasta esta distancia. Más allá de esta distancia, el haz es de  $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  o menos.
- Distancia **de exposición a zona crítica (CZED)**: El haz es lo suficientemente brillante para causar una distracción que interfiera en el desempeño de una tarea crítica, desde la fuente a esta distancia. Más allá de esta distancia, el haz es de  $5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  o menos.
- Distancia **de exposición libre de láser (LFED)**: Mas allá de esta distancia, el haz es de  $50 \text{nW}/\text{cm}^2$  o menos – lo suficientemente amortiguado para que no se prevea que cause ninguna distracción.

Para cada una de estas cuatro distancias, es importante conocer la distancia medida directamente a lo largo del haz (distancia oblicua) así como la parte del suelo cubierta (distancia horizontal) y la altitud (distancia vertical).



### DISTANCIA NOMINAL DE PELIGRO OCULAR

**Distancia Oblicua NOHD:** Utilice la ecuación 1 para un solo impulso, o para impulsos repetitivos si calculó la energía de impulsos y MPEPRF. Utilice la ecuación 2 para onda continua, o para impulsos repetitivos si calculó la potencia promedio y MPE.

**Ecuación 1** 
$$SR_{NOHD} = \sqrt{\frac{1366 \times Q}{\phi^2 \times MPE_H}}$$

Siendo:

$SR_{NOHD}$  : Distancia oblicua NOHD en pies

Q: Energía de impulso (J)

$\phi$  : Divergencia del haz (mrad)

$MPE_H$  : MPE por impulso en  $\text{J}/\text{cm}^2$ .

1366: Factor de conversión utilizado para convertir (cm) en (ft) y (rad) en (mrad).

**Ecuación 2** 
$$SR_{NOHD} = \sqrt{\frac{1366 \times \Phi}{\phi^2 \times MPE_E}}$$

Siendo:

$SR_{NOHD}$  : Distancia oblicua NOHD en pies.

$\Phi$  : Potencia (W)

$\phi$  : Divergencia del haz (mrad)

$MPE_E$  : MPE por impulso en

W/cm<sup>2</sup>.

1366: Factor de conversión utilizado para convertir (cm) en (ft) y (rad) en (mrad).

**Distancia Horizontal NOHD:** Es la distancia a lo largo del suelo. Observe que en la distancia horizontal se utiliza el ángulo de elevación mínimo. Calcule la distancia horizontal mediante la ecuación:

$$HD = SR_{NOHD} \times \cos(\theta) \quad (\text{ángulo de mínima elevación})$$

Siendo:

**HD:** Distancia horizontal a lo largo del suelo. Las unidades son las mismas que para la distancia oblicua.

**SR<sub>NOHD</sub>:** Distancia oblicua NOHD en pies.

**Ángulo mínimo de elevación:** Dato Ángulo mínimo de elevación, de la casilla del formulario.

**Distancia Vertical NOHD:** Es la distancia por encima del suelo. Observe que en la distancia horizontal se utiliza el ángulo de elevación máximo. Calcule la distancia vertical mediante la ecuación:

$$VD = SR_{NOHD} \times \sin(\theta) \quad (\text{ángulo de mínima elevación})$$

Siendo:

**VD:** Distancia vertical (altitud). Las unidades son las mismas que para la distancia oblicua.

**SR<sub>NOHD</sub>:** Distancia oblicua NOHD en pies.

**Ángulo máximo de elevación:** Dato Ángulo máximo de elevación, de la casilla del formulario.

## DISTANCIA DEL EFECTO VISUAL

Complete esta sección solamente si una o más longitudes de onda láser son visibles (en la gama de 400-700 nm).

- Si el láser esta fuera de la gama visible, complete el formulario con N/A – láser no visible en todas las casillas SZED, CZED y LFED.
- Si el láser es visible, entonces realice los cálculos para SZED, CZED y LFED siguientes.

**Importante:** Para algunos láseres por impulsos visibles, pueden calcularse SZED, CZED y LFED como inferiores (distancia más corta a la NOHD). Si este fuera el caso, por razones de seguridad no complete la casilla aplicable con estos números. En su lugar, indicara que la distancia es menos de NOHD. Esto se debe a que en este caso, la NOHD (distancia de lesión del ojo) sería lo más importante para el cálculo de las distancias de seguridad y del espacio aéreo que ha de ser protegido.

**Distancia oblicua SZED:** Aplique la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 5.3} \quad SR_{SZED} = \frac{3700}{\phi} \times \sqrt{\phi_{VCF}}$$

Siendo:

**SR<sub>SZED</sub>:** Distancia oblicua SZED.

**φ:** Divergencia del haz

**φ<sub>VCF</sub>:** (mrad)

: Potencia visualmente corregida (del formulario).

3700: Factor de conversión utilizado para convertir (cm) en (ft) y (rad) en (mrad).

**Distancia horizontal SZED:** Utilice la siguiente ecuación.

$$HD = SR_{SZED} \times \cos(\theta) \quad (\text{ángulo de mínima elevación})$$

**Distancia vertical SZED:** Utilice la siguiente ecuación.

$$VD = SR_{SZED} \times \sin(\theta) \quad (\text{ángulo de máxima elevación})$$

**Distancia oblicua, distancia horizontal y distancia vertical CZED:** Multiplique cada uno de los valores precedentes para SZED por 4,5, para obtener los valores CZED respectivos.

**Distancia oblicua, distancia horizontal y distancia vertical LFED:** Multiplique cada uno de los valores precedentes para SZED por 45.

## 5. METODO DE CÁLCULO

Indique el método por el cual se realizaron los cálculos.

**Tabla B-1. Límites de exposición admisible máxima (MPE) seleccionados para un solo impulso.**

Longitud de onda (nm)	Duración de la exposición (sec)	MPE (J/cm <sup>2</sup> )
<b>Ultravioleta</b>		
180 a 400	10 <sup>-9</sup> a 10	Véase la norma del American National Standard Institute (ANSI) Serie Z136
<b>Visible</b>		
400 a 700	<10 <sup>-9</sup> 10 <sup>-9</sup> a 18x10 <sup>-6</sup> 18x10 <sup>-6</sup> a 10 0,25	Véase la serie ANSI Z136 0,5 x 10 <sup>-6</sup> 1,8 x t <sup>0,75</sup> x 10 <sup>-3</sup> 0,64 x 10 <sup>-3</sup>
<b>Infrarrojo</b>		
700 a 1050	<10 <sup>-9</sup> 10 <sup>-9</sup> a 18x10 <sup>-6</sup> 18x10 <sup>-6</sup> a 10 0,25 10	Véase la serie ANSI Z136 0,5 x C <sub>A</sub> x 10 <sup>-6</sup> 1,8 x C <sub>A</sub> x t <sup>0,75</sup> x 10 <sup>-3</sup> 0,64 x C <sub>A</sub> x 10 <sup>-3</sup> 10 x C <sub>A</sub> x 10 <sup>-3</sup>
1050 a 1400	<10 <sup>-9</sup> 10 <sup>-9</sup> a 50x10 <sup>-6</sup> 50x10 <sup>-6</sup> a 10 10	Véase la serie ANSI Z136 5,0 x C <sub>C</sub> x 10 <sup>-6</sup> 9,0 x C <sub>C</sub> x t <sup>0,75</sup> x 10 <sup>-3</sup> 50 x C <sub>C</sub> x 10 <sup>-3</sup>
1400 a 1500	<10 <sup>-9</sup> 10 <sup>-9</sup> a 10 <sup>-6</sup> 10 <sup>-6</sup> a 10 10	Véase la serie ANSI Z136 0,1 0,56 x t <sup>0,25</sup> 1,0
1500 a 1800	<10 <sup>-9</sup> 10 <sup>-9</sup> a 10 10	Véase la serie ANSI Z136 1,0 1,0
1800 a 2600	<10 <sup>-9</sup> 10 <sup>-9</sup> a 10 <sup>-3</sup> 10 <sup>-3</sup> a 10 10	Véase la serie ANSI Z136 0,1 0,6 x t <sup>0,25</sup> 1,0
2600 a 10000	<10 <sup>-9</sup> 10 <sup>-9</sup> a 10 <sup>-7</sup> 10 <sup>-7</sup> a 10 10	Véase la serie ANSI Z136 10 x 10 <sup>-3</sup> 0,56 x t <sup>0,25</sup> 1,0

**Para obtener C<sub>A</sub>:**

Para longitud de onda = 700 a 1500 nm, C<sub>A</sub> = 10<sup>0,002</sup>(longitud de onda[nm] – 700)

**Para obtener C<sub>C</sub>:**

Para longitud de onda = 1050 a 1150 nm, C<sub>C</sub> = 1,0

Para longitud de onda = 1150 a 1200 nm, C<sub>C</sub> = 10<sup>0,018</sup> (longitud de onda [nm] - 1150)

Para longitud de onda = 1200 a 1400 nm, C<sub>C</sub> = 8,0

**Para obtener t:** 't' es la duración del impulso en segundos.

**Tabla B-2. Límites de exposición admisibles máxima (MPE) en modo de CW**

Los valores son para longitudes de onda determinadas en observación involuntaria.

Longitud de onda (nm)	MPE (J/cm <sup>2</sup> )
<b>Ultravioleta</b>	
180 a 400	Véase la norma del American National Standard Institute (ANSI) Serie Z136
<b>Visible</b>	
400 a 700	$2,54 \times 10^{-3}$
<b>Infrarrojo</b>	
700 a 1050	$(10^{0,0028 \text{ longitud de onda [nm]} - 700}) \times (1,01 \times 10^{-3})$
1050 a 1150	$5 \times 10^{-3}$
1150 a 1200	$(10^{0,018 \text{ (longitud de onda [nm]} - 1150)}) \times (5 \times 10^{-3})$
1200 a 1400	$4,0 \times 10^{-2}$
1400 a 10000	0,1

**Observación involuntaria:** Se utilizan duraciones de exposición para observación involuntaria de una exposición a CW de 0,25 segundos o menos para láseres visibles, y de 10 segundos para láseres de infrarrojo.

**Tabla B-3. Exposición admisible máxima – Límites de frecuencia de repetición de impulsos (MPEPRF) para láseres visibles**

Para observación involuntaria de una luz láser visible por impulsos repetitivos (400-700 nm) con anchura de impulsos entre 1 ns y 18  $\mu$ s.

Frecuencia de repetición de impulsos (Hz)	MPE <sub>PRF</sub> , (W/cm <sup>2</sup> )	Frecuencia de repetición de impulsos (Hz)	MPE <sub>PRF</sub> , (W/cm <sup>2</sup> )	Frecuencia de repetición de impulsos (Hz)	MPE <sub>PRF</sub> , (W/cm <sup>2</sup> )
1	$7,07 \times 10^{-7}$	25	$7,91 \times 10^{-6}$	2 000	$2,11 \times 10^{-4}$
2	$1,19 \times 10^{-6}$	30	$9,06 \times 10^{-6}$	2 500	$2,50 \times 10^{-4}$
3	$1,61 \times 10^{-6}$	40	$1,12 \times 10^{-5}$	5 000	$4,20 \times 10^{-4}$
4	$2,00 \times 10^{-6}$	50	$1,33 \times 10^{-5}$	10 000	$9,58 \times 10^{-4}$
5	$2,36 \times 10^{-6}$	75	$1,80 \times 10^{-5}$	15 000	$1,19 \times 10^{-3}$
6	$2,71 \times 10^{-6}$	100	$2,24 \times 10^{-5}$	20 000	$1,41 \times 10^{-3}$
7	$3,04 \times 10^{-6}$	150	$3,03 \times 10^{-5}$	25 000	$1,61 \times 10^{-3}$
8	$3,36 \times 10^{-6}$	200	$3,76 \times 10^{-5}$	30 000	$2,00 \times 10^{-3}$
9	$3,67 \times 10^{-6}$	250	$4,45 \times 10^{-5}$	40 000	$2,36 \times 10^{-3}$
10	$3,98 \times 10^{-6}$	500	$7,48 \times 10^{-5}$	50 000	$2,54 \times 10^{-3}$
15	$5,39 \times 10^{-6}$	1 000	$1,26 \times 10^{-4}$	55 000	$2,54 \times 10^{-3}$
20	$6,69 \times 10^{-6}$	1 500	$1,70 \times 10^{-4}$	100 000	$2,00 \times 10^{-3}$

Si la frecuencia de repetición de impulsos láser está comprendida entre dos entradas de la tablilla, utilice el valor más prudente (el más pequeño) de los dos valores  $MPE_{PRF}$  resultantes.

*Nota.- Esta **Tabla B-3** para  $MPE_{PRF}$  se basa en láseres de impulsos repetitivos con una anchura de impulsos entre 1 ns y 18  $\mu$ s. Pueden utilizarse estos números  $MPE_{PRF}$  para estimar anchuras de impulsos mayores y proporcionarán un resultado más prudente (más seguro).*

**No pretendido para análisis de exploración:** La finalidad de esta **Tabla B-3** es para láseres que naturalmente emiten impulsos repetitivos, tales como láseres de Q-conmutado. No se tiene el objetivo de analizar los impulsos explorados, causados al mover rápidamente el haz por delante del observador de la aeronave. Los impulsos que resultan de la exploración son frecuentemente de una variación extrema en anchura de impulsos y duración y por lo tanto requieren un análisis más riguroso.

**Tabla B-4. Factores de corrección ( $MPE_{impulsos} / MPE_{CW}$ ) para láseres infrarrojos de impulsos repetitivos**

Utilice para obtener MPE de infrarrojos por impulsos repetitivos (700-1 400 nm), la luz láser con anchura de impulso entre 1 ns y 18  $\mu$ s.

Frecuencia de repetición de impulsos, (Hz)	Factor de corrección para longitudes de onda 700-1 050 nm	Factor de corrección para longitudes de onda 1050-1 400 nm
1	$2,8 \times 10^{-4}$	$5,5 \times 10^{-4}$
5	$9,4 \times 10^{-4}$	$1,8 \times 10^{-3}$
10	$1,6 \times 10^{-3}$	$3,1 \times 10^{-3}$
15	$2,1 \times 10^{-3}$	$4,2 \times 10^{-3}$
20	$2,6 \times 10^{-3}$	$5,2 \times 10^{-3}$
25	$3,1 \times 10^{-3}$	$6,2 \times 10^{-3}$
50	$5,3 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-2}$
75	$7,1 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-2}$
100	$9,0 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-2}$
150	$1,2 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-2}$
200	$1,5 \times 10^{-2}$	$2,9 \times 10^{-2}$
250	$1,8 \times 10^{-2}$	$3,5 \times 10^{-2}$
500	$3,0 \times 10^{-2}$	$5,9 \times 10^{-2}$
1 000	$5,0 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-1}$
2 000	$8,0 \times 10^{-2}$	$1,7 \times 10^{-1}$

Frecuencia de repetición de impulsos, (Hz)	Factor de corrección para longitudes de onda 700-1 050 nm	Factor de corrección para longitudes de onda 1050-1 400 nm
3 000	$1,1 \times 10^{-1}$	$2,3 \times 10^{-1}$
4 000	$1,4 \times 10^{-1}$	$2,8 \times 10^{-1}$
5 000	$1,7 \times 10^{-1}$	$3,3 \times 10^{-1}$
10 000	$2,8 \times 10^{-1}$	$5,6 \times 10^{-1}$
15 000	$3,8 \times 10^{-1}$	$7,5 \times 10^{-1}$
20 000	$4,7 \times 10^{-1}$	$9,3 \times 10^{-1}$
21 000	$4,8 \times 10^{-1}$	$9,7 \times 10^{-1}$
22 000	$5,0 \times 10^{-1}$	1,00
23 000	$5,2 \times 10^{-1}$	1,00
24 000	$5,4 \times 10^{-1}$	1,00
25 000	$5,5 \times 10^{-1}$	1,00
30 000	$6,3 \times 10^{-1}$	1,00
40 000	$7,9 \times 10^{-1}$	1,00
50 000	$9,3 \times 10^{-1}$	1,00
55 000	1,00*	1,00

\*La MPE para láseres que funcionan a un PRF superior (más rápido) de 55 000 Hz para longitudes de onda 700 - 1 050 nm (o 22 000 Hz para longitudes de onda 1 050 – 1 400 nm) es la misma que para los láseres de onda continua, de forma que el factor de corrección es 1,00.

Para obtener MPE para láseres infrarrojos de impulsos repetitivos, multiplique MPE en modo de CW por el factor de corrección de esta **Tabla B-5**. Si la frecuencia de repetición del láser está entre dos entradas de la tabla, utilice el valor más prudente (más pequeño) de los dos factores de corrección resultantes.

**Tabla B-5. Factor de corrección visual para láseres visibles**

Utilícese solamente para láseres visibles (400 – 700 nm)

Longitud de onda del láser, (nm)	Factor de corrección visual, (VCF)
400	$4,0 \times 10^{-4}$
410	$1,2 \times 10^{-3}$
420	$4,0 \times 10^{-3}$
430	$1,16 \times 10^{-2}$
440	$2,30 \times 10^{-2}$
450	$3,80 \times 10^{-2}$
460	$5,99 \times 10^{-2}$
470	$9,09 \times 10^{-2}$
480	$1,391 \times 10^{-1}$
490	$2,079 \times 10^{-1}$
500	$3,226 \times 10^{-1}$
510	$5,025 \times 10^{-1}$
520	$7,092 \times 10^{-1}$
530	$8,621 \times 10^{-1}$
540	$9,524 \times 10^{-1}$
550	$9,901 \times 10^{-1}$

Longitud de onda del láser, (nm)	Factor de corrección visual, (VCF)
555	1,00
560	$9,901 \times 10^{-1}$
570	$9,524 \times 10^{-1}$
580	$8,696 \times 10^{-1}$
590	$7,576 \times 10^{-1}$
600	$6,329 \times 10^{-1}$
610	$5,025 \times 10^{-1}$
620	$3,817 \times 10^{-1}$
630	$2,653 \times 10^{-1}$
640	$1,751 \times 10^{-1}$
650	$1,070 \times 10^{-1}$
660	$6,10 \times 10^{-2}$
670	$3,21 \times 10^{-2}$
680	$1,70 \times 10^{-2}$
690	$8,2 \times 10^{-3}$
700	$4,1 \times 10^{-3}$

Para obtener la potencia visualmente corregida (VCP) correspondiente a determinada longitud de onda, multiplique el factor de corrección visual (VCF) correspondiente a la longitud de onda (de la tabla precedente) por el promedio de potencia. Si el valor de la longitud de onda está comprendido entre dos entradas de la tabla, utilice el valor más prudente (superior) de las dos VCF resultantes.