

PROTOCOLO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE EXPOSICIÓN A RADIACIÓN ULTRAVIOLETA PROVENIENTE DE FUENTES ARTIFICIALES INCOHERENTES QUE PUEDEN AFECTAR A UNA PERSONA DURANTE EL DESEMPEÑO DE SU TRABAJO

Responsable:

Alfonso Espinoza Leyton,
Sección de Radiaciones Ionizantes y No Ionizantes

Revisor:

Juan Alcaíno Lara
Subdepartamento de Ambientes Laborales

D037-PR-500-02-001
Versión 1.0
2016

Para citar el presente documento:

Instituto de Salud Pública de Chile, Protocolo para la determinación de los niveles de exposición a radiación ultravioleta proveniente de fuentes artificiales incoherentes que pueden afectar a una persona durante el desempeño de su trabajo. 2016, Versión 1.0.

Para consultas o comentarios se solicita ingresar a la página del Instituto de Salud Pública de Chile, www.ispch.cl, a la sección OIRS. Link directo: <http://www.ispch.cl/oirs/>.

PROTOCOLO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE EXPOSICIÓN A RADIACIÓN ULTRAVIOLETA PROVENIENTE DE FUENTES ARTIFICIALES INCOHERENTES QUE PUEDEN AFECTAR A UNA PERSONA DURANTE EL DESEMPEÑO DE SU TRABAJO

ÍNDICE

1. PRESENTACIÓN	4
2. OBJETIVO	4
3. ALCANCE	4
4. MARCO LEGAL	5
5. TERMINOLOGÍA	5
6. MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS	6
7. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN	6
8. CÁLCULO DE RESULTADOS	8
9. CONSIDERACIONES ADICIONALES	10
10. BIBLIOGRAFÍA	10
11. COMITÉ EXPERTOS	10
ANEXOS	11

1. PRESENTACIÓN.

Se considera como radiación ultravioleta a las radiaciones electromagnéticas comprendidas entre las longitudes de onda de 10 nm hasta 400 nm. Aunque el tipo que resulta más factible de encontrar en los lugares de trabajo son las que se encuentran entre los 100 nm y 400 nm, utilizándose en general la siguiente nomenclatura para su denominación:

Denominación	Rango de longitudes de onda
UV C	100 nm a 280 nm
UV B	280 nm a 315 nm
UV A	315 nm a 400 nm

La radiación ultravioleta se puede encontrar en múltiples ambientes de trabajo, a veces proveniente o generada por fuentes emisoras artificiales, y en otras oportunidades, asociada a condiciones o fenómenos naturales.

Se considerarán como fuentes artificiales a todos aquellos dispositivos especialmente fabricados para producir radiación ultravioleta, pero también a actividades o procesos que las generan secundariamente a otros fenómenos, en cuyos casos su producción no necesariamente es deseada, como es el caso, por ejemplo, de algunos procesos de soldadura.

2. OBJETIVO.

Establecer una metodología para determinar los niveles de radiación ultravioleta proveniente de fuentes artificiales incoherentes que puede recibir una persona durante el desempeño de su trabajo.

3. ALCANCE.

3.1. Alcance teórico.

El presente protocolo indica como determinar el nivel de exposición a radiación ultravioleta que puede recibir un trabajador, a causa o con ocasión del desempeño de sus actividades, proveniente de fuentes artificiales incoherentes, para luego comparar si dichas condiciones exceden los límites permisibles establecidos en el punto 7.3, Título IV, del D.S. N°594, de 1999, del Ministerio de Salud. No aplica para haces coherentes, por cuanto la radiación Laser ultravioleta se aborda de manera diferente, además, se encuentra regulada en punto distinto del mismo reglamento.

3.2. Población objetivo.

Trabajadores con exposición a radiación ultravioleta incoherente a causa o con ocasión de su trabajo proveniente de fuentes artificiales.

3.3. Población usuaria.

Personas con competencias afines pertenecientes a instituciones públicas y privadas, de organismos administradores de la Ley 16.744, u otras.

4. MARCO LEGAL.

- a) DFL N°1, de 2005, del Ministerio de Salud, Refunde el texto del Decreto con Fuerza de Ley N°2.763 de 1979 y las Leyes N°18.933 y N°18.469, que establece funciones del Instituto de Salud Pública de Chile.
- b) Ley N°16.744, de 1968, del Ministerio del Trabajo y Previsión Social Seguro Social, Contra Riesgos de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales.
- c) Decreto Supremo N°594, de 1999, del Ministerio de Salud. Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.

5. TERMINOLOGÍA.

- a) **Densidad de Energía o Exposición Radiante (H):** Corresponde al cociente entre, la energía radiante que incide sobre una superficie, y la superficie expuesta. Si se trata de una exposición continua la Densidad de Energía se calcula multiplicando la Densidad de Potencia por la duración de la exposición. Se expresa en Joule dividido por metro al cuadrado (J/m^2) o en sus respectivas equivalencias.
- b) **Densidad de Energía Efectiva o Exposición Radiante Efectiva (H_{eff}):** Corresponde al cociente entre, la energía radiante efectiva, es decir, ponderada por curva de eficiencia espectral relativa, que incide sobre una superficie, y la superficie expuesta. Si se trata de una exposición continua la Densidad de Energía Efectiva se calcula multiplicando la Densidad de Potencia Efectiva por la duración de la exposición. Se expresa en Joule dividido por metro al cuadrado (J/m^2) o en sus respectivas equivalencias.
- c) **Densidad de Potencia o Irradiancia (E):** Potencia radiante por unidad de área que incide sobre una superficie. Se expresa en watt dividido por metro al cuadrado (W/m^2) o en sus respectivas equivalencias.
- d) **Densidad de Potencia Efectiva o Irradiancia Efectiva (E_{eff}):** Potencia radiante por unidad de área que incide sobre una superficie, ponderada por curva de eficiencia espectral relativa. Se expresa en watt dividido por metro al cuadrado (W/m^2) o en sus respectivas equivalencias.
- e) **Eficiencia Espectral Relativa ($S(\lambda)$):** Parámetro que pondera la cantidad de energía entregada por la radiación respecto del o los efectos biológicos que se esperan prevenir o limitar su probabilidad de aparición.
- f) **Radiación incoherente:** Campo de radiación electromagnética en el cual las ondas están desfasadas, así mismo, puede haber más de una longitud de onda y se propaga en forma omnidireccional desde donde se produce.
- g) **Tiempo máximo (T_{max}):** Tiempo máximo que puede estar sometida a la radiación ultravioleta alguna zona de la piel o de los ojos, durante una jornada de trabajo, para una condición dada, todo ello, de acuerdo a los límites que apliquen a dicha condición.

6. MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS.

- a) Para realizar la evaluación se requiere un instrumento o sistema que permita la detección de las longitudes de onda necesarias, dentro del rango ultravioleta, que se relacionen con la exposición ocupacional a evaluar. De acuerdo a esto, se debe utilizar cualquiera de los siguientes sistemas:
 - Radiómetro de banda ancha que permita medir Densidad de Energía y Densidad de Potencia con los siguientes accesorios:
 - i. Filtro ponderador de respuesta actínica de acuerdo a la curva de ponderación del anexo B.
 - ii. Filtro para corrección coseno.
 - iii. Capacidad de detección de radiación de longitudes de onda de a lo menos entre los 200 y 400 nm.
 - Espectroradiómetro ultravioleta. Con capacidad para detectar radiación ultravioleta en, a lo menos, el rango entre los 200 y 400 nm. Resolución mínima de 1 nm. Con filtro para corrección coseno.
- b) Dispositivo para medir distancias.
- c) Dispositivo (trípode) para posicionar el detector.

7. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN.

- a) Identificar la o las situaciones de exposición a evaluar.
- b) Obtener la información relevante para la evaluación como descripción de la fuente emisora o generadora de radiación ultravioleta tales como longitudes de onda de emisión, densidades de potencia teóricas, de estar disponibles. También distancias a las que se pueden exponer trabajadores, zonas del cuerpo eventualmente expuestas, entre otras.
- c) Cuando corresponda se debe hacer una estimación del tiempo de exposición diario a la condición evaluada. Esta variable, para algunas situaciones será utilizado en los cálculos y en otras, sólo para efectos de comparación con las tablas establecidas en la reglamentación.
- d) Determinar los lugares, zonas o puntos a evaluar.
- e) Según las especificaciones técnicas del equipo determinar la forma de utilización más adecuada del mismo. Registre dichas condiciones.
- f) A continuación el procedimiento se divide en función de la situación a evaluar y del equipamiento disponible. En el anexo E se muestra un diagrama de flujo que resume las decisiones necesarias.

7.1. Medición con radiómetro de banda ancha.

La medición se debe enfrentar de acuerdo a una de las siguientes condiciones dependiendo de la información que se conoce de la situación o fuente a evaluar.

7.1.1. CONDICIÓN 1. En que se conoce las longitudes de onda de la fuente involucrada y que esté en el rango entre 200 y 315 nm.

- a) Poner el radiómetro en condiciones de medir Densidad de Potencia o Irradiancia con el filtro ponderador de la curva de eficiencia espectral relativa y el filtro para corrección coseno.
- b) Ubicar el detector del radiómetro en el punto definido, orientarlo con la superficie sensible simulando la misma orientación de la superficie expuesta a la radiación.

- c) Efectuar la medición con las condiciones habituales de exposición en la realización de la actividad a evaluar o generar las condiciones de emisión de radiación ultravioleta de interés. Medir el tiempo que sea necesario de acuerdo al instrumento utilizado. Para conocer esto consultar el catalogo del equipo entregado por su fabricante.
- d) Registrar la medición de esta Densidad de Potencia Efectiva o Irradiancia Efectiva.
- e) Efectuar todos los pasos anteriores para cada punto de interés establecido.

7.1.2. CONDICIÓN 2. En que se conoce las longitudes de onda de la fuente involucrada y que esté en el rango entre 320 y 400 nm.

- a) Poner el radiómetro en condiciones de medir Densidad de Potencia o Irradiancia con el filtro para corrección coseno.
- b) Ubicar el detector del radiómetro en el punto definido, orientarlo con la superficie sensible simulando la misma orientación de la superficie expuesta a la radiación.
- c) Efectuar la medición con las condiciones habituales de exposición en la realización de la actividad a evaluar o generar las condiciones de emisión de radiación ultravioleta de interés. Medir el tiempo que sea necesario de acuerdo al instrumento utilizado. Para conocer esto consultar el catalogo del equipo entregado por su fabricante.
- d) Registrar la medición la medición de esta Densidad de Potencia o Irradiancia.
- e) Efectuar todos los pasos anteriores para cada punto de interés establecido.

7.1.3. CONDICIÓN 3. Se conoce que existe emisión tanto en el rango entre 200 y 315 nm, como también entre 320 y 400 nm.

- a) Poner el radiómetro en condiciones de medir Densidad de Potencia o Irradiancia. Utilice filtros para detectar sólo los aportes de longitudes de onda de 320 a 400 nm, de no ser posible, no se podrá efectuar la medición con vista a realizar comparaciones con la Tabla N°1 de Artículo 109 del D.S.N°594 de 1999 del Ministerio de Salud. Diríjase a la letra f de este punto.
- b) Instale también el filtro para corrección coseno.
- c) Ubicar el detector del radiómetro en el punto definido, orientarlo con la superficie sensible simulando la misma orientación de la superficie expuesta a la radiación.
- d) Efectuar la medición con las condiciones habituales de exposición en la realización de la actividad a evaluar o generar las condiciones de emisión de radiación ultravioleta de interés. Medir el tiempo que sea necesario de acuerdo al instrumento utilizado. Para conocer esto consultar el catalogo del equipo entregado por su fabricante.
- e) Registrar la medición la medición de esta Densidad de Potencia o Irradiancia.
- f) Poner el radiómetro en condiciones de medir Densidad de Potencia o Irradiancia en el rango de 200 a 315 nm, con el filtro ponderador de la curva de eficiencia espectral relativa y el filtro para corrección coseno.
- g) Ubicar el detector del radiómetro en el punto definido, orientarlo con la superficie sensible simulando la misma orientación de la superficie expuesta a la radiación.
- h) Efectuar la medición con las condiciones habituales de exposición en la realización de la actividad a evaluar o generar las condiciones de emisión de radiación ultravioleta de interés. Medir el tiempo que

sea necesario de acuerdo al instrumento utilizado. Para conocer esto consultar el catalogo del equipo entregado por su fabricante.

- i) Registrar la medición de esta Densidad de Potencia Efectiva o Irradiancia Efectiva.
- j) Efectuar todos los pasos anteriores para cada punto de interés establecido.

7.2 Medición con espectroradiómetro.

- a) Configurar el instrumento para detectar radiación ultravioleta en, a lo menos, entre 200 a 400 nm. Utilizar un ancho de banda de 1 nm.
- b) Poner el equipo detector en condiciones de medir Densidad de Potencia o Irradiancia en cada punto definido.
- c) Ubicar el detector del espectroradiómetro en el punto definido, orientarlo con la superficie sensible simulando la misma orientación de la superficie expuesta a la radiación.
- d) Efectuar la medición con las condiciones habituales de exposición en la realización de la actividad a evaluar o generar las condiciones de emisión de radiación ultravioleta de interés. Medir el tiempo que sea necesario de acuerdo al instrumento utilizado. Para conocer esto consultar el catalogo del equipo entregado por su fabricante.
- e) Registrar cada una de las mediciones y para cada longitud de onda muestreada.
- f) Efectuar todos los pasos anteriores para cada punto de interés establecido registrando cada lectura.

8. CÁLCULO DE RESULTADOS.

8.1. Cálculos para mediciones efectuadas con radiómetros de banda ancha.

8.1.1. CONDICIÓN 1. El valor de Densidad de Potencia Efectiva o Irradiancia Efectiva obtenido es directamente comparable con la Tabla N°2 del Anexo A.

8.1.2. CONDICIÓN 2. El valor de Densidad de Potencia o Irradiancia en mW/cm² debe ser comparado directamente con la Densidad de Potencia de la Tabla N°1 del Anexo A para exposiciones mayores a 16 minutos en la jornada de trabajo. Si se trata de exposiciones inferiores a 16 minutos en la jornada, se debe obtener la Densidad de Energía o Exposición Radiante, tal como lo muestra la siguiente fórmula:

$$H \left[\frac{J}{m^2} \right] = E_T \left[\frac{W}{m^2} \right] \times t[s] \quad (1)$$

Donde:

E_T es la Densidad de Potencia o Irradiancia total en el rango de 200 a 315 nm.

t es el tiempo de exposición de la jornada.

Este valor de H en J/cm² debe ser comparado con la Densidad de Energía de la Tabla N°1 del Anexo A.

8.1.3. CONDICIÓN 3. El valor de Densidad de Potencia o Irradiancia obtenido en punto 7.1.3. letra e) en mW/cm² debe ser comparado directamente con la Densidad de Potencia de la Tabla N°1 del Anexo A para exposiciones mayores a 16 minutos en la jornada de trabajo. Si se trata de exposiciones inferiores a 16 minutos en la jornada, se debe obtener la Densidad de Energía o Exposición Radiante, tal como lo muestra la fórmula (1).

Este valor de H en J/cm² debe ser comparado con la Densidad de Energía de la Tabla N°1 del Anexo A. Por otro lado, el valor de Densidad de Potencia Efectiva o Irradiancia Efectiva obtenido en el punto 7.1.3. letra i), es directamente comparable con la Tabla N°2 del Anexo A.

8.2 Cálculos para mediciones efectuadas con espectralradiómetros.

- Extraer la información relativa a las Densidades de Potencia o Irradiancias que el equipo detectó entre los 320 y 400 nm.
- Sumar todos los anteriores valores de Densidad de Potencia de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$E_T \left[\frac{W}{m^2} \right] = \sum_{320 \text{ nm}}^{400} \left(E_i \left[\frac{W}{m^2 \times nm} \right] \times \Delta\lambda [nm] \right) \quad (2)$$

Donde:

E_T es la Densidad de Potencia o Irradiancia total en el rango de 320 a 400 nm.

E_i es la Densidad de Potencia o Irradiancia por cada nanómetro.

$\Delta\lambda$ es el ancho de banda utilizado que corresponde a 1 nm.

- Este valor de E_T en mW/cm² se debe comparar con la Densidad de Potencia de la Tabla N°1 del Anexo A para exposiciones mayores que 16 minutos en la jornada de trabajo.
- Si se trata de exposiciones inferiores a 16 minutos en la jornada, el valor de E_T debe ser multiplicado por el tiempo de exposición para obtener la Densidad de Energía o Exposición Radiante utilizando la fórmula (1). Este valor de H en J/cm² debe ser comparado con la Densidad de Energía de la Tabla N°1 del Anexo A.
- Extraer la información relativa a las Densidades de Potencia o Irradiancias que el equipo detectó entre los 200 y 315 nm.
- Sumar todos los valores de Densidad de Potencia ponderando por Curva de Eficiencia Espectral Relativa, tal como muestra la siguiente fórmula:

$$E_{eff} \left[\frac{W}{m^2} \right] = \sum_{200 \text{ nm}}^{315} \left(E_i \left[\frac{W}{m^2 \times nm} \right] \times S(\lambda) \times \Delta\lambda [nm] \right) \quad (3)$$

Donde:

E_{eff} es la Densidad de Potencia Efectiva o Irradiancia Efectiva en el rango de 200 a 315 nm.

E_i es la Densidad de Potencia o Irradiancia por cada nanómetro.

$S(\lambda)$ es la Eficiencia Espectral Relativa para cada longitud de onda según la Tabla del Anexo B.

$\Delta\lambda$ es el ancho de banda utilizado que corresponde a 1 nm.

- La Densidad de Potencia Efectiva en $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ es comparable directamente con lo establecido en la Tabla N°2 del Anexo A de acuerdo al tiempo de exposición total de la jornada.

9. CONSIDERACIONES ADICIONALES.

Para resolver situaciones de tiempos de exposición intermedios a los exhibidos en la Tabla N°2 del Anexo A, se puede obtener un valor de Tmax utilizando la siguiente fórmula:

$$T_{max} [s] = \frac{0,003 \left[\frac{J}{cm^2} \right]}{E_{eff} \left[\frac{W}{cm^2} \right]}$$

10. BIBLIOGRAFÍA.

- a) Guía técnica para la evaluación y prevención de riesgos relacionados con las radiaciones ópticas artificiales, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INHST), Madrid, junio 2015.
- b) Occupational Exposure to Ultraviolet Radiation, Radiation Protection Series N°12, Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, diciembre 2016.
- c) ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation), Health Physics 87(2); 171-186; 2004.
- d) 2015 TLVs and BEIs Based on the Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices. ACGIH.

11. COMITÉ DE EXPERTOS.

Agradecemos la participación y contribución del Comité de Expertos conformado por:

- Carlos Pavletic Favi, Representante Departamento de Salud Ocupacional, Ministerio de Salud.
- René Prado León, Representante Asociación Chilena de Seguridad (ACHS).
- Iván Inostroza Cáceres, Representante del Instituto de Seguridad del Trabajo.
- Otto Delgado Ramos, Sección de Radiaciones Ionizantes y No Ionizantes.
- Cristóbal Guerrero Lara, Sección de Radiaciones Ionizantes y No Ionizantes.
- Oscar Edding Munizaga, Sección de Radiaciones Ionizantes y No Ionizantes.
- Alfonso Espinoza Leyton, quien actuó como secretario técnico y editor responsable del documento. Sección de Radiaciones Ionizantes y No Ionizantes.

ANEXOS

ANEXO A: EXTRACTO D.S. N°594, DE 1999, DEL MINISTERIO DE SALUD.

“7.3 Ultravioleta

Artículo 109: El límite permisible máximo para exposición ocupacional a radiaciones ultravioleta, dependerá de la región del espectro de acuerdo a las siguientes tablas:”

TABLA N°1

Límites permisibles para piel y ojos (Longitud de Onda de 320 nm a 400 nm)

Tiempo de Exposición	Densidad de Energía o de Potencia
Menor de 16 minutos	1 J/cm ²
Mayor de 16 minutos	1 mW/cm ²

TABLA N°2

Tiempo máximo de exposición permitido para piel y ojos (Longitud de Onda de 200 nm a 315 nm)

Tiempo de Exposición	Densidad de Potencia (μW/cm ²)
8 horas	0,1
4 horas	0,2
2 horas	0,4
1 hora	0,8
30 minutos	1,7
15 minutos	3,3
10 minutos	5,0
5 minutos	10
1 minuto	50
30 segundos	100
10 segundos	300
1 segundo	3.000
0,5 segundo	6.000
0,1 segundo	30.000

ANEXO B:

Curva de Eficiencia Espectral Relativa para determinación de irradiancias efectivas.

Valores para longitudes de onda entre de 180 a 400 nm. Curva de ponderación de riesgo actínico.

λ (nm)	S(λ)	λ (nm)	S(λ)	λ (nm)	S(λ)	λ (nm)	S(λ)	λ (nm)	S(λ)	λ (nm)	S(λ)	λ (nm)	S(λ)
180	0,012	212	0,0824	244	0,3471	276	0,9434	308	0,026	340	0,00028	372	0,000086
181	0,0126	213	0,0864	245	0,36	277	0,9272	309	0,0197	341	0,000271	373	0,000083
182	0,0132	214	0,0906	246	0,373	278	0,9112	310	0,015	342	0,000263	374	0,00008
183	0,0138	215	0,095	247	0,3865	279	0,8954	311	0,0111	343	0,000255	375	0,000077
184	0,0144	216	0,0995	248	0,4005	280	0,88	312	0,0081	344	0,000248	376	0,000074
185	0,0151	217	0,1043	249	0,415	281	0,8568	313	0,006	345	0,00024	377	0,000072
186	0,0158	218	0,1093	250	0,43	282	0,8342	314	0,0042	346	0,000231	378	0,000069
187	0,0166	219	0,1145	251	0,4465	283	0,8122	315	0,003	347	0,000223	379	0,000066
188	0,0173	220	0,12	252	0,4637	284	0,7908	316	0,0024	348	0,000215	380	0,000064
189	0,0181	221	0,1257	253	0,4815	285	0,77	317	0,002	349	0,000207	381	0,000062
190	0,019	222	0,1316	254	0,5	286	0,742	318	0,0016	350	0,0002	382	0,000059
191	0,0199	223	0,1378	255	0,52	287	0,7151	319	0,0012	351	0,000191	383	0,000057
192	0,0208	224	0,1444	256	0,5437	288	0,6891	320	0,001	352	0,000183	384	0,000055
193	0,0218	225	0,15	257	0,5685	289	0,6641	321	0,000819	353	0,000175	385	0,000053
194	0,0228	226	0,1583	258	0,5945	290	0,64	322	0,00067	354	0,000167	386	0,000051
195	0,0239	227	0,1658	259	0,6216	291	0,6186	323	0,00054	355	0,00016	387	0,000049
196	0,025	228	0,1737	260	0,65	292	0,598	324	0,00052	356	0,000153	388	0,000047
197	0,0262	229	0,1819	261	0,6792	293	0,578	325	0,0005	357	0,000147	389	0,000046
198	0,0274	230	0,19	262	0,7098	294	0,5587	326	0,000479	358	0,000141	390	0,000044
199	0,0287	231	0,1995	263	0,7417	295	0,54	327	0,000459	359	0,000136	391	0,000042
200	0,03	232	0,2089	264	0,7751	296	0,4984	328	0,00044	360	0,00013	392	0,000041
201	0,0334	233	0,2188	265	0,81	297	0,46	329	0,000425	361	0,000126	393	0,000039
202	0,0371	234	0,2292	266	0,8449	298	0,3989	330	0,00041	362	0,000122	394	0,000037
203	0,0412	235	0,24	267	0,8812	299	0,3459	331	0,000396	363	0,000118	395	0,000036
204	0,0459	236	0,251	268	0,9192	300	0,3	332	0,000383	364	0,000114	396	0,000035
205	0,051	237	0,2624	269	0,9587	301	0,221	333	0,00037	365	0,00011	397	0,000033
206	0,0551	238	0,2744	270	1	302	0,1629	334	0,000355	366	0,000106	398	0,000032
207	0,0595	239	0,2869	271	0,9919	303	0,12	335	0,00034	367	0,000103	399	0,000031
208	0,0643	240	0,3	272	0,9838	304	0,0849	336	0,000327	368	0,000099	400	0,00003
209	0,0694	241	0,3111	273	0,9758	305	0,06	337	0,000315	369	0,000096		
210	0,075	242	0,3227	274	0,9679	306	0,0454	338	0,000303	370	0,000093		
211	0,0786	243	0,3347	275	0,96	307	0,0344	339	0,000291	371	0,00009		

Referencia: 2015 TLVs and BEIs Based on the Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices. ACGIH.

ANEXO C: ASPECTOS MÍNIMOS QUE DEBE CONSIDERAR EL INFORME.

El informe debe contener al menos lo siguiente:

- a) Resumen.
- b) Contexto.
- c) Individualización de las personas intervinientes en la evaluación e informe.
- d) Objetivos.
- e) Metodología.
- f) Equipamiento.
- g) Datos de la instalación. Incluido croquis o dibujos auxiliares requeridos.
- h) Resultados.
- i) Análisis de resultados.
- j) Conclusiones.
- k) Anexos. Incluir certificados de calibración, imágenes, etc.

ANEXO D: EJEMPLO DE APLICACIÓN Y CÁLCULOS.

D.1. MEDICIÓN CON RADIÓMETRO DE BANDA ANCHA.

D.1.1. CONDICIÓN 1.

Se obtuvo un valor de Densidad de Potencia Efectiva o Irradiancia Efectiva igual a:

$$E_{eff} = 2 \times 10^{-3} \left[\frac{mW}{cm^2} \right] = 2 \left[\frac{\mu W}{cm^2} \right]$$

Dicho valor debe ser comparado directamente con la Tabla N°2 del D.S. N°594, de 1999, del Ministerio de Salud. De acuerdo a ello, el tiempo máximo de exposición diario a dicha condición sería algo menos que 30 minutos.

De ser necesaria una mayor precisión se puede utilizar la fórmula (4) de la siguiente manera:

$$T_{max} [s] = \frac{0,003 \left[\frac{J}{cm^2} \right]}{2 \times 10^{-6} \left[\frac{W}{cm^2} \right]} = 1500 [s]$$

$$T_{max} = 1500 [s] = 25 [min]$$

D.1.2. CONDICIÓN 2.

Se obtuvo un valor de Densidad de Potencia o Irradiancia igual a:

$$E_T = 0,9 \left[\frac{mW}{cm^2} \right]$$

Si el tiempo de exposición dentro de la jornada de trabajo es mayor a 16 minutos el valor anterior debe ser comparado directamente con la Tabla N°1 del D.S. N°594, de 1999, del Ministerio de Salud. De acuerdo a ello, el valor de Densidad de Potencia o Irradiancia es menor a 1 mW/cm², por lo tanto la situación cumpliría lo establecido.

Si el tiempo de exposición de la jornada de trabajo es menor de 16 minutos, se debe aplicar la fórmula (1), en este ejemplo se estimó que el tiempo es de 10 minutos, es decir, 600 segundos, por lo tanto:

$$H \left[\frac{J}{m^2} \right] = 9 \left[\frac{W}{m^2} \right] \times 600 [s]$$

$$H = 5400 \left[\frac{J}{m^2} \right] = 0,54 \left[\frac{J}{cm^2} \right]$$

Este valor de Densidad de Energía o Exposición Radiante debe ser comparado directamente con la Tabla N°1 del D.S. N°594, de 1999, del Ministerio de Salud. De acuerdo a ello, el valor Densidad de Energía o Exposición Radiante es menor a 1 J/cm², por lo tanto, la situación cumpliría lo establecido.

D.1.3. CONDICIÓN 3.

Se obtuvo un valor de Densidad de Potencia o Irradiancia igual a:

$$E_T = 1,1 \left[\frac{mW}{cm^2} \right]$$

Si el tiempo de exposición dentro de la jornada de trabajo es mayor a 16 minutos el valor anterior debe ser comparado directamente con la Tabla N°1 del D.S. N°594, de 1999, del Ministerio de Salud. De acuerdo a ello, el valor el valor de Densidad de Potencia o Irradiancia es mayor a 1 mW/cm², por lo tanto la situación no cumpliría lo establecido.

Si el tiempo de exposición de la jornada de trabajo es menor de 16 minutos, se debe aplicar la fórmula (1), en este ejemplo se estimó que el tiempo es de 12 minutos, es decir, 720 segundos, por lo tanto:

$$H \left[\frac{J}{m^2} \right] = 11 \left[\frac{W}{m^2} \right] \times 720 [s]$$

$$H = 7920 \left[\frac{J}{m^2} \right] = 0,792 \left[\frac{J}{cm^2} \right]$$

Este valor de Densidad de Energía o Exposición Radiante debe ser comparado directamente con la Tabla N°1 del D.S. N°594, de 1999, del Ministerio de Salud. De acuerdo a ello, el valor Densidad de Energía o Exposición Radiante es menor a 1 J/cm², por lo tanto, la situación cumpliría lo establecido.

Posteriormente se ubicó el filtro ponderador de la curva de eficiencia espectral relativa y se obtuvo un valor de Densidad de Potencia Efectiva o Irradiancia Efectiva igual a:

$$E_{eff} = 4 \times 10^{-3} \left[\frac{mW}{cm^2} \right] = 4 \left[\frac{\mu W}{cm^2} \right]$$

Dicho valor debe ser comparado directamente con la Tabla N°2 del D.S. N°594, de 1999, del Ministerio de Salud. De acuerdo a ello, el tiempo máximo de exposición diario a dicha condición sería algo menos que 15 minutos.

De ser necesaria una mayor precisión se puede utilizar la fórmula (4) de la siguiente manera:

D.2. MEDICIÓN CON ESPECTORADIÓMETRO.

Se obtuvo la siguiente tabla como resultado de la medición de Densidades de Potencia o Irradiancia por nanómetro:

λ (nm)	Densidad de Potencia o Irradiancia ($\mu\text{W}/\text{cm}^2\text{nm}$)	λ (nm)	Densidad de Potencia o Irradiancia ($\mu\text{W}/\text{cm}^2\text{nm}$)	λ (nm)	Densidad de Potencia o Irradiancia ($\mu\text{W}/\text{cm}^2\text{nm}$)	λ (nm)	Densidad de Potencia o Irradiancia ($\mu\text{W}/\text{cm}^2\text{nm}$)	λ (nm)	Densidad de Potencia o Irradiancia ($\mu\text{W}/\text{cm}^2\text{nm}$)	λ (nm)	Densidad de Potencia o Irradiancia ($\mu\text{W}/\text{cm}^2\text{nm}$)	λ (nm)	Densidad de Potencia o Irradiancia ($\mu\text{W}/\text{cm}^2\text{nm}$)
200	0.002830	229	0.009500	258	0.015070	287	0.158490	316	1.777280	345	9.825750	374	10.344030
201	0.003910	230	0.004840	259	0.019700	288	0.120110	317	2.268440	346	6.653780	375	10.591970
202	0.000980	231	0.009140	260	0.044110	289	0.119190	318	2.110140	347	6.495810	376	12.062700
203	0.007120	232	0.007340	261	0.051360	290	0.072090	319	2.275710	348	6.238470	377	13.670290
204	0.007050	233	0.005530	262	0.037380	291	0.156630	320	2.958980	349	7.270610	378	7.334320
205	0.000150	234	0.007700	263	0.027750	292	0.000020	321	2.708890	350	7.151600	379	15.213660
206	0.000480	235	0.006380	264	0.062050	293	0.183200	322	2.943460	351	7.263940	380	14.350900
207	0.000760	236	0.005380	265	0.035260	294	0.222690	323	3.025280	352	7.369250	381	12.157920
208	0.006040	237	0.005730	266	0.093250	295	0.132990	324	3.703280	353	7.446970	382	11.242170
209	0.000250	238	0.003160	267	0.043960	296	0.130010	325	3.789730	354	9.775090	383	11.069520
210	0.002570	239	0.003590	268	0.056400	297	0.152150	326	4.804140	355	9.142470	384	12.519250
211	0.007910	240	0.006810	269	0.059490	298	0.417340	327	4.891840	356	8.464720	385	13.551360
212	0.007290	241	0.003010	270	0.104650	299	0.478700	328	4.657360	357	8.462910	386	13.605300
213	0.006410	242	0.006810	271	0.047210	300	0.183750	329	5.132780	358	8.047900	387	12.343830
214	0.007520	243	0.002790	272	0.072590	301	0.149010	330	5.424620	359	9.087070	388	11.944810
215	0.002590	244	0.008520	273	0.048750	302	0.155930	331	5.702110	360	10.514480	389	11.959020
216	0.006460	245	0.000440	274	0.051420	303	0.279670	332	5.116130	361	9.428010	390	12.835010
217	0.008290	246	0.006720	275	0.000010	304	0.398830	333	5.006270	362	8.894170	391	13.851860
218	0.006480	247	0.007410	276	0.007250	305	0.308080	334	5.048660	363	10.716220	392	11.533170
219	0.005660	248	0.005670	277	0.084490	306	0.508440	335	5.839860	364	10.499950	393	9.508090
220	0.002730	249	0.005970	278	0.106900	307	0.601600	336	5.942920	365	12.037080	394	11.274450
221	0.000780	250	0.004520	279	0.067360	308	0.633090	337	6.887640	366	13.051190	395	13.199640
222	0.008650	251	0.009580	280	0.076230	309	0.793000	338	6.706840	367	12.275220	396	11.707880
223	0.004860	252	0.032840	281	0.026640	310	0.986250	339	7.884510	368	12.663310	397	12.809020
224	0.003590	253	0.017040	282	0.000010	311	0.946210	340	6.947510	369	13.291440	398	15.119830
225	0.006990	254	0.018860	283	0.071430	312	1.278360	341	7.313240	370	12.627500	399	17.616790
226	0.007870	255	0.041480	284	0.077900	313	1.193800	342	8.487710	371	11.504150	400	18.121310
227	0.004000	256	0.031750	285	0.013620	314	1.754210	343	7.300200	372	10.864590		
228	0.006310	257	0.027870	286	0.168600	315	1.581800	344	6.498530	373	10.614950		

Se debe aplicar la fórmula (2) considerando los aportes entre 320 y 400 nm, sin aplicar ponderación, llevando cada valor a W/m^2 y con $\Delta\lambda=1$ nm.

$$E_T \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] = \sum_{320 \text{ nm}}^{400} \left(E_i \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{nm}} \right] \times \Delta\lambda [\text{nm}] \right)$$

Se obtiene:

$$E_T \left[\frac{W}{m^2} \right] = 7,54$$

$$E_T = 7,54 \left[\frac{W}{m^2} \right] = 0,754 \left[\frac{mW}{cm^2} \right]$$

Si el tiempo de exposición dentro de la jornada de trabajo es mayor a 16 minutos el valor anterior debe ser comparado directamente con la Tabla N°1 del D.S. N°594, de 1999, del Ministerio de Salud. De acuerdo a ello, el valor de Densidad de Potencia o Irradiancia es menor a 1 mW/cm², por lo tanto la situación cumpliría lo establecido.

Si el tiempo de exposición de la jornada de trabajo es menor de 16 minutos, se debe aplicar la fórmula (1), en este ejemplo se estimó que el tiempo es de 14 minutos, es decir, 840 segundos, por lo tanto:

$$H \left[\frac{J}{m^2} \right] = 7,54 \left[\frac{W}{m^2} \right] \times 840 [s]$$

$$H = 6333.6 \left[\frac{J}{m^2} \right] = 0,6333 \left[\frac{J}{cm^2} \right]$$

Este valor de Densidad de Energía o Exposición Radiante debe ser comparado directamente con la Tabla N°1 del D.S. N°594, de 1999, del Ministerio de Salud. De acuerdo a ello, el valor Densidad de Energía o Exposición Radiante es menor a 1 J/cm², por lo tanto, la situación cumpliría lo establecido.

Posteriormente se debe aplicar la fórmula (3) considerando los aportes entre 200 y 315 nm, aplicando la curva de Eficiencia Espectral Relativa mostrada en el Anexo B, llevando cada valor a W/m² y con $\Delta\lambda=1$ nm.

$$E_{eff} \left[\frac{W}{m^2} \right] = \sum_{200 \text{ nm}}^{315} \left(E_i \left[\frac{W}{m^2 \times nm} \right] \times S(\lambda) \times \Delta\lambda [nm] \right)$$

Se obtiene:

$$E_{eff} = 0,03 \left[\frac{W}{cm^2} \right] = 3 \left[\frac{\mu W}{cm^2} \right]$$

Dicho valor debe ser comparado directamente con la Tabla N°2 del D.S. N°594, de 1999, del Ministerio de Salud. De acuerdo a ello, el tiempo máximo de exposición diario a dicha condición sería algo menos que 30 minutos, cercano a los 15 minutos.

De ser necesaria una mayor precisión se puede utilizar la fórmula (4) de la siguiente manera:

$$T_{max} [s] = \frac{0,003 \left[\frac{J}{cm^2} \right]}{3 \times 10^{-6} \left[\frac{W}{cm^2} \right]} = 1000 [s]$$

$$T_{max} = 1000 [s] = 16,7 [min]$$

ANEXO E: DIAGRAMA DE FLUJO.

