



Leza, Escriña
& Asociados S.A.
Consultores en Ingeniería
de Riesgos y Valuaciones

Perú 345 12º C
Buenos Aires
Argentina

www.lea.com.ar

info@lea.com.ar
tel: 4334.2514
(líneas rotativas)

Ingeniería e
inspección de riesgos

Programas
de prevención

Valuaciones

Ajustes y peritajes

Riesgos del trabajo

Control de daños
en automóviles

CIRCULAR 06.06

Radiación térmica: su efecto en incendios de líquidos y gases

1. Introducción

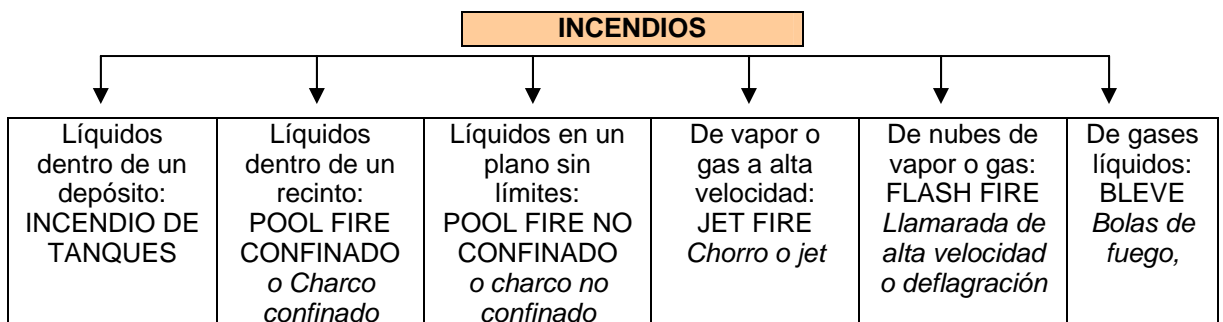
En todo incendio que involucre líquidos y gases inflamables, la radiación térmica es uno de los efectos principales. El estudio de sus consecuencias es muy importante para poder evaluar:



- Las posibles pérdidas materiales (estimar PML y EML para uso de Administradores de Riesgos o Aseguradoras)
- Las necesidades de resistencia al fuego de los materiales constructivos
- Las necesidades de agua de refrigeración y mitigación necesarias
- Y, especialmente, establecer distancias de seguridad en las intervenciones, para SALVAR VIDAS

2. Tipos de fuego

Los accidentes por escape de líquidos y gases inflamables pueden dar lugar a la formación de un charco ardiendo, una bola de fuego o un incendio tipo llamarada, cuando el combustible entra en contacto con un foco de ignición. Se pueden esquematizar de la siguiente forma:





Leza, Escriña
& Asociados S.A.
Consultores en Ingeniería
de Riesgos y Valuaciones

Perú 345 12º C
Buenos Aires
Argentina

www.lea.com.ar

info@lea.com.ar
tel: 4334.2514
(líneas rotativas)

Ingeniería e
inspección de riesgos

Programas
de prevención

Valuaciones

Ajustes y peritajes

Riesgos del trabajo

Control de daños
en automóviles

Existen otros tipos de fuego, como las Vapor Cloud Explosion, que no se incluyen en el esquema anterior, porque devienen en explosiones y su efecto principal es la onda expansiva (sobre presión), y no el efecto de radiación térmica.

3. Qué es la radiación térmica

La Radiación Térmica es una de las formas en que se transmite el calor generado por un cuerpo, que también puede transmitirse por Conducción, si es a través de sólidos conductivos, o Convección, si es por el movimiento de las partículas que componen gases o líquidos.

A diferencia de la Conducción o Convección, la Radiación Térmica se emite en forma de ondas electromagnéticas y no requiere de un medio conductor, por lo que se propaga instantáneamente por espacios libres.

La radiación se mide determinando su energía de intensidad (en kw) por unidad de superficie (m^2):

$$\text{Radiación} = \text{kw}/m^2$$

Un complejo desarrollo matemático nos permite arribar al resultado numérico del valor de la radiación; la presente circular tiene por objetivo exponer directamente las consecuencias de la radiación térmica, sin detenernos en el mismo.

La radiación es emitida por fuentes de calor que denominamos cuerpos radiantes.

Un ejemplo: el sol es un cuerpo radiante. A partir de ello, todo objeto que se encuentre más cerca o más alejado del mismo, sufrirá en mayor o menor medida los efectos de la radiación solar (que no es otra cosa que “quemarse”).



Día de pleno sol en verano:

*la radiación incidente es de
 $1 \text{ kw}/m^2$ a nivel del mar.*

Al tener un incendio de un líquido o de un gas inflamable, estaremos en presencia de un “cuerpo radiante”, y debemos estudiar sus características para estimar la radiación generada.

4. Cómo nos afecta la radiación

La intensidad de la radiación térmica, recibida por un ser vivo o por un objeto situado en el campo de influencia de un incendio, depende de:



Leza, Escriña
& Asociados S.A.
Consultores en Ingeniería
de Riesgos y Valuaciones

Perú 345 12º C
Buenos Aires
Argentina

www.lea.com.ar

info@lea.com.ar
tel: 4334.2514
(líneas rotativas)

Ingeniería e
inspección de riesgos

Programas
de prevención

Valuaciones

Ajustes y peritajes

Riesgos del trabajo

Control de daños
en automóviles

- las condiciones atmosféricas (humedad ambiente; viento),
- la geometría del incendio (diámetro de la base del incendio, altura e inclinación de las llamas y distancia al punto irradiado)
- y de las características físico-químicas del producto en combustión (peso molecular, temperatura, presión y volumen crítico, punto de ebullición, calor de vaporización y de combustión, entre otros).

Para medir la magnitud de las consecuencias de un accidente determinado hay que tener presente los siguientes factores:

- Inventario (cantidad de producto)
- Factor energético: presión, calor de combustión
- Factor tiempo: para una cantidad determinada de producto, cuanto más corto sea el tiempo de escape más elevadas serán las concentraciones a una determinada distancia, y más difícil e improbable será la huída o la evacuación de la población y el control de la situación.
- Relación intensidad/distancia del equipo y personas.
- Factor de exposición. Estudiar la distribución sobre el terreno de los efectos (radiación, concentración) y de las personas, para no llegar a conclusiones excesivamente alarmistas u optimistas.

5. Consecuencias de la radiación térmica

La gravedad de las consecuencias de la radiación térmica depende de la intensidad de la radiación (kw/m^2) y del tiempo de exposición.

En el caso de las **personas**, dependerá del tipo de protección (vestimenta) con que cuenten:



El “límite soportable” para las personas con vestimenta común se considera del orden de $4 \text{ kw}/\text{m}^2$, en el caso de una exposición breve.

El “límite soportable” para un bombero con traje estructural es del orden de $12.5 \text{ kw}/\text{m}^2$, con un tiempo de exposición prolongado.



Respecto de **materiales y equipos**, si bien debe estudiarse en detalle cada tipo de configuración, en la siguiente tabla se presentan algunos ejemplos de daños esperados para cada nivel de radiación.



Leza, Escriña
& Asociados S.A.
Consultores en Ingeniería
de Riesgos y Valuaciones

Perú 345 12º C
Buenos Aires
Argentina

www.lea.com.ar

info@lea.com.ar
tel: 4334.2514
(líneas rotativas)

Ingeniería e
inspección de riesgos

Programas
de prevención

Valuaciones

Ajustes y peritajes

Riesgos del trabajo

Control de daños
en automóviles

Kw/m ²	EFECTOS DE LA RADIACION CALÓRICA INCIDENTE	
	Daños a equipos / materiales	Daños a personas
400	Máxima radiación tolerable por una pared de ladrillos	
200	Debilitamiento del hormigón armado	
60	Máxima radiación tolerable por el cemento	
40	Máximo tolerable por el acero estructural y el hormigón prensado. Destrucción de equipos y tanques	
37.5	Suficiente para causar daños a equipos de proceso; colapso de estructuras	100% de mortalidad en 1 minuto.
25	El acero delgado, aislado, puede perder su integridad mecánica. Energía mínima para encender madera, por larga exposición, sin llama	1% de mortalidad en 1 minuto. Lesiones significativas en 10 seg.
12.5	Energía mínima para encender madera después de una larga exposición, con llama Ignición de tubos y recubrimientos de plástico en cables eléctricos. daños severos a equipos de instrumentación	ZONA DE INTERVENCION: Máximo soportable protegido con trajes especiales, por tiempo limitado (ejemplo bomberos). Es más que conveniente, de todos modos, refrigerar a la persona expuesta a esta dosis. Sin trajes especiales, 1% de mortalidad en 1 minuto, quemaduras de 1er grado en 10 seg.
11.7	El acero delgado, parcialmente aislado, puede perder su integridad mecánica	
8		Umbral de letalidad (1% de afectación) por incendio, para un tiempo de exposición de 1min.
4		ZONA DE ALERTA: Suficiente para causar dolor si la exposición es mayor de 20 seg. Quemadura de 1er grado. Improbable formación de ampollas.
1.5		Máximo soportable por personas con vestimentas normales y un tiempo prolongado

Niveles de daño para diversos flujos térmicos (incendios, bleves, dardos de fuego)

6. Máxima radiación por producto

La radiación generada a consecuencia de un incendio que involucre líquidos o gases inflamables es muy elevada; a la vez, sus efectos pueden ser temibles debido a que puede afectar a otras partes de la planta (si hablamos por ejemplo, de una refinería de petróleo) y generar nuevos accidentes (explosiones o escapes). Además el humo complica la actuación de los equipos de intervención y los somete a un peligro adicional (falta de visibilidad, intoxicación). La siguiente tabla expone la intensidad máxima de radiación esperable, para la combustión de distintos tipos de hidrocarburos:

Producto	kw/m ²	Producto	kw/m ²	Producto	kw/m ²
Naftas	70–110	Acetaldehído	32	Acetato de vinilo	30
Kerosene	80 – 90	Amoníaco	13	Acetonitrilo	37
Jet A1	70 – 80	Butadieno	86	Acrilonitrilo	26
Diesel	80	Bromuro de metilo	8	Acido fórmico	2
Gasoil liviano	70 – 80	Butileno	93	Alcohol alílico	38
Gasoil pesado	50 – 60	Cloruro de etilo	14	Acrilato de metilo	30
Fuel oil	70	Cloruro de metilo	14	Benceno	70
Asfalto	30	Cloruro de vinilo	26	Cloruro de alilo	32
Petróleo (crudo)	20	Dimetilamina	61	Dicloropropano	20
Gas natural	95	Etileno	89	Dietilamina	77



Leza, Escriña
& Asociados S.A.
Consultores en Ingeniería
de Riesgos y Valuaciones

Perú 345 12° C
Buenos Aires
Argentina

www.lea.com.ar

info@lea.com.ar
tel: 4334.2514
(líneas rotativas)

Ingeniería e
inspección de riesgos

Programas
de prevención

Valuaciones

Ajustes y peritajes

Riesgos del trabajo

Control de daños
en automóviles

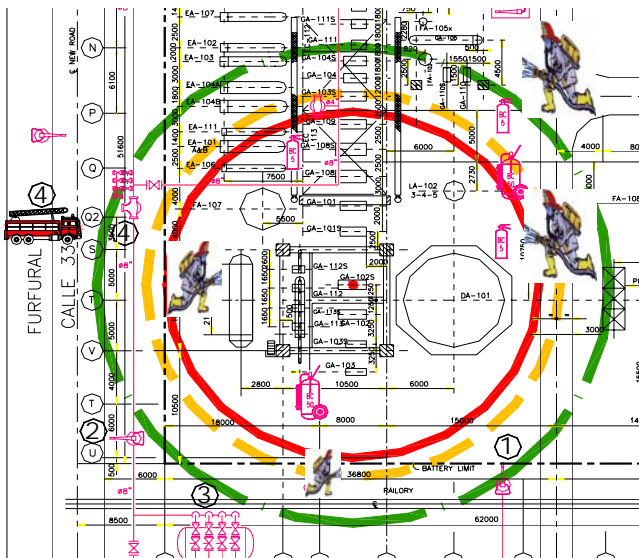
Producto	kw/m ²	Producto	kw/m ²	Producto	kw/m ²
Butano	95	Oxido de etileno	35	Cloroformo	1
Propano	95	Monóxido carbono	14	Etil mercaptano	59
Etano	95	Propileno	93	Formiato de etilo	30
Metano	95	Sulfuro de hidrógeno	20	Formiato de metilo	19
Metanol	15	Oxido de propileno	45	Tetracloruro de carbono	1

Intensidad media de radiación de la superficie de llama (kW/m²)

Por otra parte también deberá tenerse en cuenta que la radiación disminuye a medida que uno se aleja de la fuente (para mayor detalle, con el cuadrado de la distancia). De acuerdo a esto se pueden determinar círculos de afectación, teniendo los círculos internos mayor nivel de radiación y los externos menor exposición.

7. Representación gráfica de la radiación

El siguiente ejemplo refiere a un incendio de hidrocarburo (charco o pool fire no confinado).



El alcance de la radiación térmica se expresa en círculos concéntricos, con eje en el foco del incendio. La simulación permite trazar 3 círculos, denominados:

- Zona de riesgo máximo, donde la destrucción es prácticamente total,
- Zona de intervención, donde sólo pueden permanecer bomberos equipados,
- Zona de alerta, límite máximo al que pueden acercarse personas sin equipo especial

La siguiente tabla resume los resultados de la simulación del incendio, para las variables de operación del sistema (presión, caudal, condiciones climáticas, etc):

INCENDIO: REFERENCIAS					
Radiación incidente		Efectos de la radiación térmica			Observaciones
Flujo térmico (kw/m ²)	Alcance (m)	Sobre equipos		Sobre personas	
		Sin ignifugado	Con ignifugado		
37,5 kw/m ² Riesgo máximo	18 m	> 80%	70%	100% de muertes en 1 minuto	
12,6 kw/m ² Zona de intervención	35 m	40%	35%	1% de muertes en 1 minuto	zona límite de intervención de bomberos
4,00 kw/m ² Zona de alerta	60 m	10%	10%	0% muertes (umbral humano)	máximo tolerable por el hombre. sin vestimenta especial



Leza, Escriña
& Asociados S.A.
Consultores en Ingeniería
de Riesgos y Valuaciones

Perú 345 12º C
Buenos Aires
Argentina

www.lea.com.ar

info@lea.com.ar
tel: 4334.2514
(líneas rotativas)

Ingeniería e
inspección de riesgos

Programas
de prevención

Valuaciones

Ajustes y peritajes

Riesgos del trabajo

Control de daños
en automóviles

8. Conclusiones

Como queda expuesto en la presente circular, la radiación es un fenómeno atribuible a cuerpos radiantes, presente especialmente en incendios de productos líquidos o gaseosos de naturaleza inflamable.

Sus consecuencias son muy nocivas y en muchísimos casos catastróficas, tanto sobre las personas como también sobre los bienes.

Es por ello fundamental que, cuando se trabaje con productos inflamables, se actúe muy especialmente en la faz preventiva, concientizando a las personas sobre los riesgos de los procesos y los productos, así como también sobre las medidas a tomar para minimizar los potenciales puntos de ignición (instalaciones eléctricas, soldaduras, distancias de seguridad, etc, etc).

Para prever las consecuencias de un incendio de un líquido o un gas inflamable, LEA cuenta con software propio para realizar simulaciones de incendios, pool fires, jet fire, bleves, etc (Breeze Haz – EEUU).

Fuentes Consultadas: *Análisis del riesgo en instalaciones industriales (Alfaomega, España); Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España; Base de datos propia de LEA. Fotos: Repsol YPF y archivo propio de LEA.*