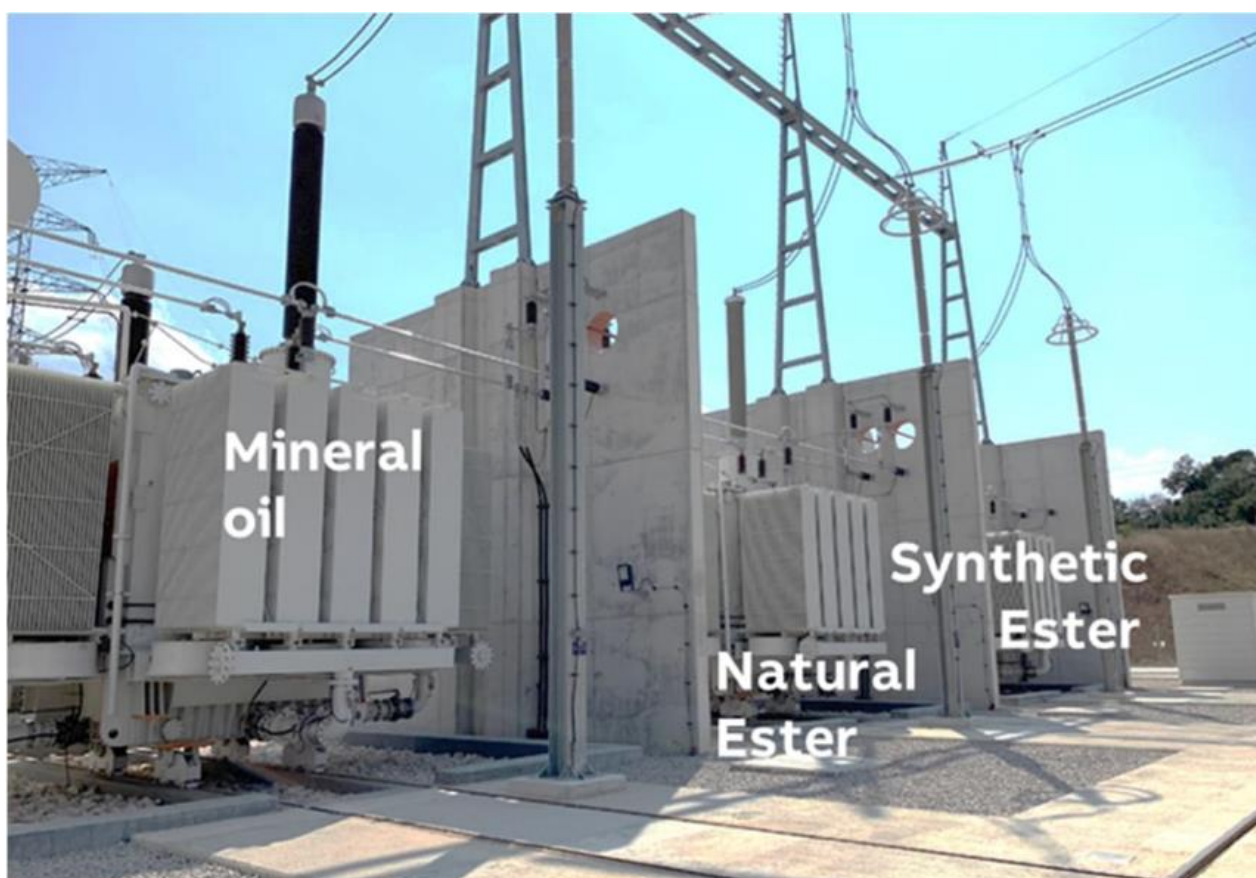


# Distancias de separación para protección contra el fuego en transformadores al exterior con fluidos aislantes Clase “K”.

Por: Freddy Quijaite Dávila, marzo 2024

<https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7176981969879101440/>



*(Imagen: Hitachi Energy - presentación en Lima, 2023.10.01)*

## INDICE

Resumen .....	3
1. Introducción.....	3
2. Fluidos aislantes Clase "O" y Clase "K" .....	3
3. Distancias de separación para transformadores con fluido aislante Clase "K" .....	5
3.1 Clasificación de resistencia al fuego .....	7
3.2 Distancias de separación para transformadores con fluidos aislantes clase "K", con protección mejorada .....	8
4. Distancias de separación para transformadores con fluidos Clase "K", según FM Global..	9
4.1 Transformadores con aprobación FM Global .....	12
5. Diferencias de criterios IEC y FM Global, en las distancias de separación para transformadores con fluidos aislantes Clase "K". .....	13
Referencias .....	14

# Distancias de separación para protección contra el fuego en transformadores al exterior con aislantes Clase "K".

Por: Freddy Quijaite Dávila, marzo 2024

## Resumen

La disposición de una instalación al exterior debe ser tal que un evento que provoque incendio de un transformador, con un volumen de líquido aislante igual o superior a 1 000 litros no cause riesgo de incendios a otros transformadores, edificaciones, equipos con excepción de aquellos dispositivos o partes directamente asociados al transformador [1].

Estas distancias varían según el tipo de fluido aislante, el volumen de este en el transformador y la resistencia al fuego de los muros. Para fluidos aislantes menos inflamables, como los de Clase "K", las distancias se definen según estándares como IEC [1] y FM Global [2]. En este documento se analiza y comparan los criterios según la IEC y FM Global para establecer las distancias de tal forma de controlar la zona de riesgo de incendio en transformadores con fluidos aislantes Clase "K" para diferentes volúmenes de transformadores y características de protección.

*Palabras claves:* Clase "K", protección mejorada, FM Global, muros corta fuegos

## 1. Introducción

En una instalación con transformadores al aire libre, la zona de riesgo de incendio se define desde el perímetro del transformador y se extiende hacia otros transformadores o edificaciones, incluyendo muros cortafuegos que forman parte del diseño de la planta electromecánica. Estas distancias varían según el tipo de fluido aislante, el volumen del transformador y la resistencia al fuego de los muros cortafuegos o paredes de las edificaciones, pudiendo estar construidas con materiales no combustibles o combustibles.

Cuando se utiliza un fluido aislante menos inflamable, conocido como Clase "K", las distancias requeridas están definidas por estándares internacionales como IEC [1] y FM Global [2]. Estos criterios se aplican a transformadores con volúmenes superiores e inferiores a 38 m<sup>3</sup>, así como a transformadores con características de protección mejorada. Además, se pueden encontrar transformadores certificados por FM Global, aplicables específicamente para 10 MVA, hasta Clase 38 kV según IEC [1],[3] y hasta Clase 35 kV según FM Global [4].

Este documento explora la evaluación de estos criterios y las diferencias entre ellos en cuanto a las distancias de separación requeridas para transformadores con fluidos aislantes Clase "K".

## 2. Fluidos aislantes Clase "O" y Clase "K"

El fluido aislante estándar empleado en transformadores es conocido comúnmente como "aceite mineral", Clase "O", que tiene un punto típico de combustión es entre 120 °C a 160 °C. Mientras que un fluido aislante menos inflamable ("less flammable fluid") se define como un fluido aislante con

un punto de combustión superior a 300°C [5]. Los fluidos aislantes menos inflamables comúnmente utilizados incluyen aceites a base de ésteres naturales o sintéticos y fluidos a base de silicona.

Actualmente este tipo de fluidos se utilizan en transformadores con niveles de tensión de hasta 220 kV e incluso desde el 2016 hasta 400 kV (BIL 1425 kVp) según reporta Hitachi [6].

El principal interés en el su uso de estos fluidos es no sólo por ser menos inflamables, sino también por sus propiedades no tóxicas y biodegradables. Son denominados por la IEC fluidos aislantes clase "K" por su punto de combustión > 300°C [5].

Las cuatro categorías de fluidos aislantes clase "K" más usuales y actualmente disponibles son:

- Hidrocarburo de alto peso molecular (HMWH)
- Éster sintético
- Ésteres naturales
- Aceite de silicona

Las principales características de los fluidos aislantes clase "K" y del aceite mineral clase "O", se pueden ver en la tabla A3 de la norma IEC 60076-14. El aceite aislante mineral Clase "O", bajo estándar IEC 60296, es el fluido aislante más común empleado en transformadores y suele servir como punto de referencia para evaluar el rendimiento de otros fluidos aislantes a alta temperatura [7]. La norma IEC 61100 establece reglas para clasificar fluidos aislantes según su punto de inflamación y su poder calorífico, un punto de inflamación superior a 300 °C, determinado según la norma ISO 2592, clasifica el fluido aislante como Clase "K". Sin embargo, ni el punto de inflamación ni el punto de inflamabilidad definen la capacidad de un fluido aislante a altas temperaturas [7]. Factores como el desarrollo de lodos, la afinidad por la humedad y la tasa de oxidación también influyen en la capacidad de un fluido aislante para soportar altas temperaturas. Las temperaturas máximas de funcionamiento proporcionadas en la Tabla 2-1 (Tabla A.3 IEC60076-14) sirven únicamente como punto de partida de referencia. Estas temperaturas son estimadas o generalmente aceptadas por la industria, no son tomadas necesariamente como valores recomendados por esta norma.

Tab. 2-1 Características típicas de fluidos aislantes (fuente Tabla. A.3, IEC60076-14).

Generic name	IEC standard reference	Thermal class <sup>a</sup> °C	Flash point <sup>c</sup> °C	Fire point <sup>c</sup> °C	Water content mg/ kg	Density at 25 °C g/cm <sup>3</sup>	Relative permittivity <sup>d</sup> at 25 °C	Dissipation factor <sup>d</sup> at 25 °C %	Kinematic viscosity mm <sup>2</sup> /sec		Thermal conductivity at 25 °C W/mK	Specific heat at 25 °C J/ kg °C
									At 40 °C	At 100 °C		
Mineral insulating oil	60296	105	145	160	25	0,88	2,2	0,05	9,2	2,3	0,12	2 100
Synthetic hydrocarbon	60867	~130	230	250	15	0,83	2,1	0,01		4,1	0,14	2 100
Synthetic ester	61099	~130	275	316	50	0,97	3,2	0,02	28	5,8	0,16	2 100
Dimethyl silicone	60836	~155 <sup>b</sup>	310	360	50	0,96	2,7	0,01	40	14,3	0,15	1 500
<b>Although the following liquids are used in some transformer applications, they are not yet defined by IEC standards.</b>												
Synthetic PAO hydrocarbon	N/A	~130	264	304	15	0,83	2,1	0,01	-	8,6	0,13	2 300
Natural ester	N/A	~130 <sup>b</sup>	330	360	50	0,91	3,2	0,20	33	9	0,17	2 000
High molecular weight hydrocarbon	N/A	~155	280	312	10	0,87	2,2	0,01	-	11,8	0,14	2 100
NOTE The values in this table are provided only as a general guide for comparison of the different liquids. For specific physical properties and acceptance limits, refer to the IEC standard noted for each liquid. Verify physical properties and acceptance limits for liquids with no IEC document with the liquid manufacturer.												
<sup>a</sup> Thermal class is equal to the maximum recommendable operating temperature, which is expected to give an acceptable lifetime of the liquid.												
<sup>b</sup> Due to the oxidation stability properties of these dielectric liquids, the estimated temperature limits apply to sealed type transformers or transformer with nitrogen preservation systems that essentially eliminate the ingress of air.												
<sup>c</sup> Cleveland open cup test per ISO 2592. In IEC documents, flash point is determined according to the Pensky-Martens closed cup test per ISO 2719, which generally gives lower values than those shown.												
<sup>d</sup> Relative permittivity and dissipation factor data are referenced to 50 Hz or 60 Hz.												

Para algunos tipos de fluidos clase "K" empleados en transformadores, señalados en la Tabla 2-1 (Tabla A.3 de la IEC 60076-14 del 2013 [7]), aún no están definidos según estándares IEC. Sin

embargo, se dispone de la norma IEC 62975 [8] "Natural esters – Guidelines for maintenance and use in electrical equipment", que proporciona procedimientos y directrices destinados al uso y mantenimiento de ésteres naturales líquidos en transformadores sellados y otros equipos eléctricos [8].

### 3. Distancias de separación para transformadores con fluido aislante Clase "K"

La disposición de una instalación al exterior debe ser tal que un evento que provoque incendio de un transformador, con un volumen de líquido aislante igual o superior a 1000 litros no cause riesgo de incendios a otros transformadores, edificaciones, equipos con excepción de aquellos dispositivos o partes directamente asociados al transformador [1].

Para ello será necesario considerar las distancias según definidas para G1 y G2 en la Tabla 3-1 (Tabla 4 de la IEC 61936-1 [1]).

- G1: Distancia a otros transformadores o superficies de edificaciones con material no combustible -materiales que no permiten la auto propagación del fuego, aportan una cantidad insignificante de combustible, pero no necesariamente son resistentes al fuego-.
- G2: Distancia a superficies de edificaciones o a material combustible.

Si no es posible considerar las distancias adecuadas como se indica en la Tabla 3-1 (Tabla 4 IEC 61936-1 [1]), se pueden emplear materiales o muros cortafuegos con clasificación de resistencia al fuego.

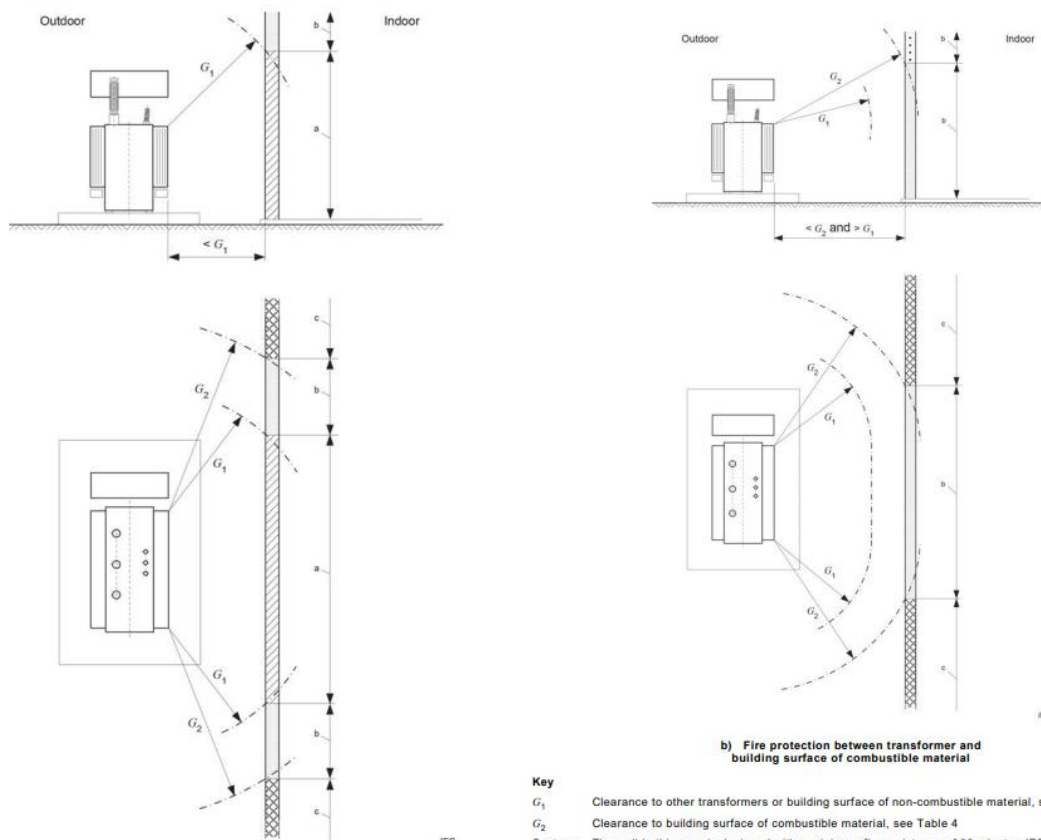


Fig. 3-1 Distancias G1, G2 de protección al fuego entre transformador y edificios de material combustible y REI (fuente: fig. 7, IEC61936-1)

Tab. 3-1 Distancias de separación para transformadores instalados al exterior, (fuente Tabla. 4, IEC61936-1).

Transformer type	Liquid volume	Clearance $G_1$ to other transformers or building surface of non-combustible material	Clearance $G_2$ to building surface of combustible material
	l	m	m
Oil insulated transformers (O)	1 000 ≤ ... < 2 000	3	7,5
	2 000 ≤ ... < 20 000	5	10
	20 000 ≤ ... < 45 000	10	20
	≥ 45 000	15	30
Less flammable liquid insulated transformers (K) without enhanced protection	1 000 ≤ ... ≤ 38 000	1,5	7,5
	> 38 000	4,5	15
Less flammable liquid insulated transformers (K) with enhanced protection	Clearance $G_1$ to building surface or adjacent transformers		
	Horizontal m	Vertical m	
	0.9	1.5	

Los materiales **no combustibles** mencionados en la tabla 3-1 (tabla 4 de la IE C61936-1 [1]), son en referencia a la clasificación que se indican en la norma europea EN 13501-1 [9], asociados a sus propiedades frente a su contribución y descomposición al fuego, (que no se trata de la clasificación de resistencia al fuego), esta clasificación es A1, A2, B, C, D, E y F [9].

Los materiales no combustibles es decir sin ninguna contribución al fuego son los de clase A1, los materiales poco combustibles con muy baja contribución al fuego son los de clase A2, ejemplos según el tipo de combinación e instalación de materiales en estas clases se encuentran; el cemento, concreto, minerales, vidrio, fibra de vidrio, lana de roca, cerámica, etc., mientras que los materiales desde la clase B a F son **combustibles** y contribuyen al fuego en orden ascendente.

Como se puede ver en la Tabla 3-1 (Tabla 4 de la IEC 61936-1 [1]), en comparación con el uso de aceite mineral convencional Clase "O" las distancias de separación recomendada se reducen considerablemente cuando el transformador emplea un líquido aislante clase "K" **sin protección mejorada** ("Without enhanced protection").

Así de esta forma podemos deducir que, para un transformador instalado al exterior, con fluido aislante clase "K", según su volumen y sin protección mejorada las siguientes distancias:

- Para un volumen  $1\ 000 \leq \dots \leq 38\ 000$  litros, la distancia G1 será de 1.5 m y la distancia G2 de 7,5 m.
- Para un volumen  $> 38\ 000$  litros, las distancia G1 será 4.5m y la distancia G2 será de 15 m.

Es importante señalar que en ambos casos G1 y G2 son consideradas desde el transformador a diferencia de las distancias consideradas por la FM Global "Property Loss Prevention Data Sheet 5-4", las cuales se consideran desde el borde de la poza de retención del fluido aislante [2].

**Nota:** La distancia desde el borde de la poza de retención de aceite hacia el transformador según IEC 61936-1 es considerada el 20% de la altura al tanque conservador [1], usualmente recomendando 800 mm como mínimo y 1 500 mm bajo el estándar IEEE 980[10].

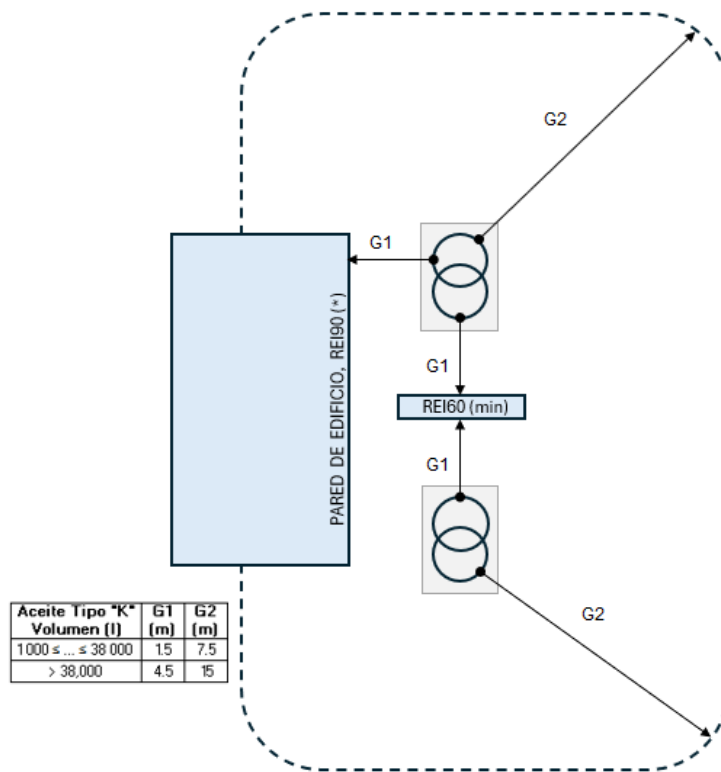


Fig. 3-2 Arreglo con distancias G1, G2 de protección al fuego entre transformador y edificios.

(\*) Si no se dispone de un muro separador corta fuego mínimo REI60 entre los transformadores y las edificaciones, las paredes de las edificaciones deben aumentar su resistencia al fuego a REI90 como se indica en la referencia [1] ítem 8.7.2.2. A diferencia de la calificación de la resistencia al fuego considerada por la FM Global [2], la cual considera en este caso tanto para el muro corta fuego y las paredes de las edificaciones una resistencia al fuego de 120 minutos como se indican en la referencia [2] ítem 2.3.1.1 y en la referencia [5] ítem 7.3.3.

### 3.1 Clasificación de resistencia al fuego

La resistencia al fuego de las estructuras en una subestación en relación con los materiales de construcción, incluidos los edificios, normalmente es indicado por una combinación de letras de código y números que implica sus características y sus periodos de tiempo de sus resistencias al fuego según se indica en a la referencia [5] ítem 2.2.7, su significado es como sigue:

- R: Capacidad de carga de un elemento de construcción conservando sus características mecánicas estructurales y de carga relevante, durante un incendio.
- E: Integridad de la estructura al fuego, para no permitir el paso o la producción de gases de combustión a las áreas no expuestas.
- I: Capacidad de aislamiento térmico de una estructura de reducir dentro de un límite de temperatura la transferencia de calor al lado no expuesto al fuego.

Por ejemplo

- REI 60, es un elemento constructivo que debe mantener durante 60 minutos, su resistencia mecánica estructural, integridad al fuego y aislamiento térmico.

- RE90, es un elemento constructivo que debe mantener durante 90 minutos, su resistencia mecánica estructural e integridad al fuego.
- R120, es un elemento constructivo que debe conservar durante 120 minutos, su resistencia mecánica estructural.
- REI120/60/60 significa que la estructura mantenga su resistencia mecánica estructural durante 120 minutos; Integridad al fuego por 60 minutos y aislamiento térmico por 60 minutos.

### 3.2 Distancias de separación para transformadores con fluidos aislantes clase “K”, con protección mejorada

Para esta condición de acuerdo con la tabla 3-1 (tabla 4 de la IEC 61936-1 [1]) señalado en color verde, las distancias ya no se relacionan con el volumen del líquido aislante y solo se considerada la distancia G1, en forma horizontal y vertical como sigue:

- Distancia G1 horizontal: 0.9 m.
- Distancia G1 vertical: 1.5 m.

Estas distancias de separación solo son consideradas para el caso de transformadores **con protección mejorada** (“With enhanced protection”).

La protección mejorada en un transformador implica que este debe tener: una mayor resistencia a la ruptura del tanque, sistema de alivio de presión y protección adicional contra corrientes de falla, según las referencias que se establecen en el estándar FM Global, “Property Loss Prevention Data Sheet 5-4” [2] y IEC 60076-13 [3]. Es importante notar que, tanto en el FM Global como en la IEC, se refieren a transformadores de hasta 10 MVA, con Um (tensión máxima del equipamiento) en el lado primario de hasta 24 kV [3], 38 kV [1] para IEC y 35 kV [4] para FM Global.

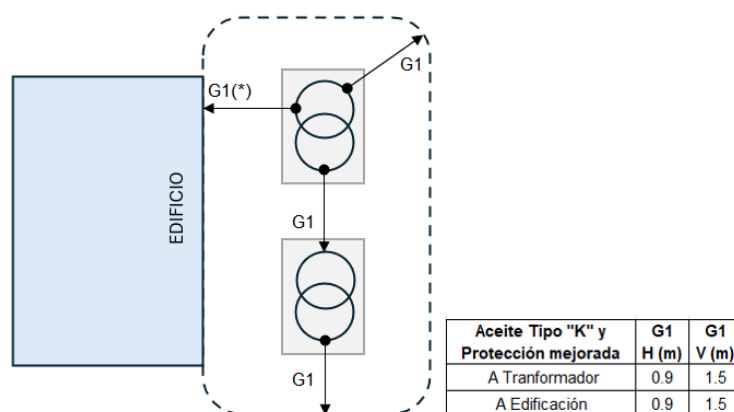


Fig. 3.2-1 Arreglo con distancias G1 entre transformadores con protección mejorada y edificios.

(\*) Si la distancia G1 hacia la edificación no es posible, las paredes deben aumentar su resistencia al fuego a REI90.



#### 4. Distancias de separación para transformadores con fluidos Clase “K”, según FM Global.

Las recomendaciones para las distancias de separación entre el transformador exterior y los edificios son consideradas desde el borde la poza de contención del líquido aislante y se basan en; figura 3, tabla 5, figura 4, tabla 6 y tabla 8 para la distancia de separación entre transformadores adyacentes en FM Global Data Sheet 5-4 [2].

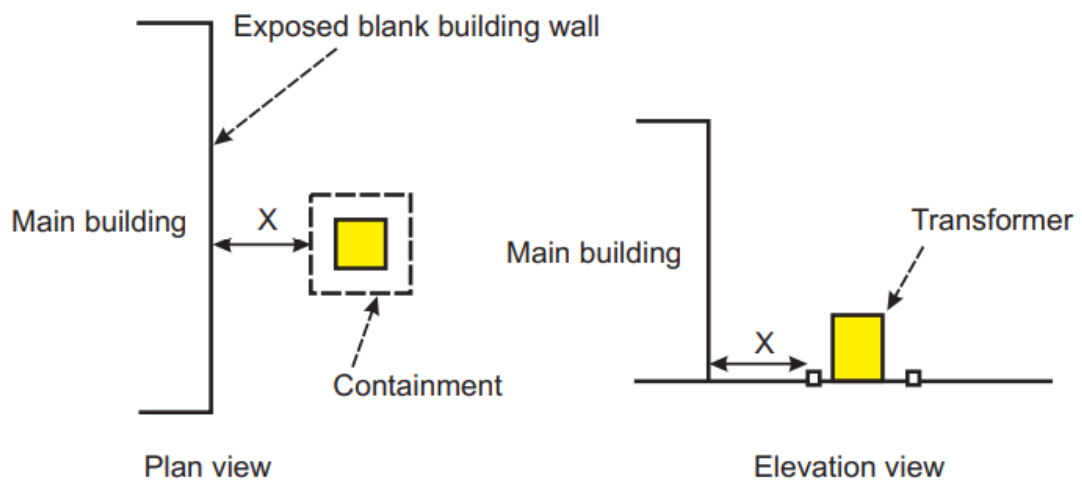


Fig. 4-1 Vista de distancias horizontales de separación por protección al fuego entre transformador y edificios (fuente: fig. 3, FM Global Data Sheet 5-4)

Tab. 4-1 Distancias horizontales de separación por protección al fuego entre transformador y edificios (fuente: Tab. 5, FM Global Data Sheet 5-4)

Fluid or Transformer Type	Fluid Volume, gal (m <sup>3</sup> )	Minimum Horizontal Distance from Containment to Exposed Building Wall (Dimension X in Figure 3)		
		2-hour fire-rated wall, ft (m)	Non-combustible wall, <sup>1</sup> ft (m)	Combustible Wall, <sup>1</sup> ft (m)
FM Approved transformer	Per Approval Listing	3 (0.9)		
FM Approved Liquid in non-Approved transformer	<10,000 (38)	5 (1.5)		25 (7.6)
	>10,000 (38)	15 (4.6)		50 (15.2)

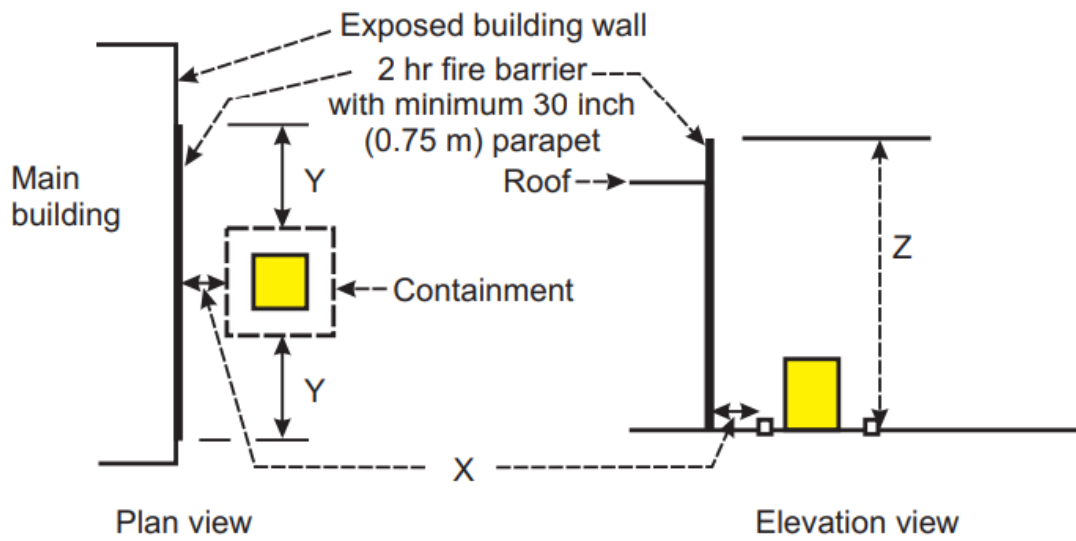


Fig. 4-2 Vista de distancias horizontales, verticales de separación por protección al fuego entre transformador y edificios con barreras contrafuegos de 2 horas (fuente: fig. 4, FM Global Data Sheet 5-4)

Tab. 4-2 Distancias de separación horizontales, verticales por protección al fuego entre transformador y edificios con barreras contrafuego REI60 (fuente: Tab. 6, FM Global Data Sheet 5-4)

Fluid Type	Fluid Volume gal (m <sup>3</sup> )	Separation and Extent of 2-hour Fire Barrier		
		Dimension <sup>1,2</sup> (See Fig. 4)	Noncombustible Wall <sup>3</sup> ft (m)	Combustible Wall <sup>3</sup> ft (m)
FM Approved transformer fluid	≤10000 (38)	X	5 (1.5)	1.5
		Y	5 (1.5)	25 (7.6)
		Z	25 (7.6)	25 (7.6)
	>10000 (38)	x	15 (4.6)	15 (4.6)
		Y	15 (4.6)	50 (15.2)
		Z	50 (15.2)	50 (15.2)

Tab. 4-3 Distancias de separación mínima entre transformadores adyacentes (fuente: Tab.8, FM Global Data Sheet 5-4)

Liquid Type	FM Approved Transformer?	Liquid Volume, gal (m <sup>3</sup> )	Distance, ft (m)
FM Approved Transformer Fluid	Yes	N/A	3 (0.9)
	No	≤10000 (38)	5 (1.5)
		>10000 (38)	25 (7.6)

Cuando la separación indicada en la tabla no puede darse se puede considerar el uso de un muro cortafuego con resistencia REI20.

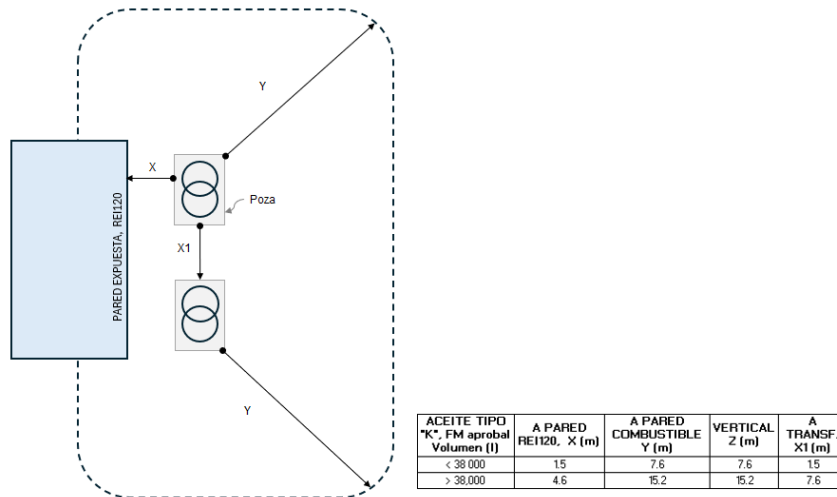


Fig. 4-2 Arreglo con distancias de protección al fuego entre transformador con aceite tipo "K" con aprobación FM global y edificios.

Si consideramos las distancias entre el borde la poza de retención de fluido aislante y la cuba de transformador según IEEE 980 como mínimo 1.5 m [10], se tiene que las distancias desde un transformador hacia otro transformador y edificaciones quedan como sigue:

Tab. 4-4 Distancias de separación, con 1.5 m de distancia entre el borde de la poza y transformador.

ACEITE TIPO "K", FM aprobal Volumen (l)	A PARED RE120, X (m)	A PARED COMBUSTIBLE Y (m)	A TRANSF. X1 (m)
< 38.000	3	9.1	4.5
> 38,000	6.1	16.7	10.6

Como se puede ver la distancia que más se incrementa, es entre transformadores ya que se agregan 3 m más.

Para el caso de transformadores con volúmenes de fluido aislante mayor a 38 000 l, las distancias a paredes, es en este caso, resistentes al fuego por 2 horas se incrementan en un 36 % mientras que las distancia a paredes combustibles se incrementan en 11% respecto a las distancias recomendadas por IEC [1].

Tab. 4-5 Comparación de distancias de separación IEC y FM

Aceite Tipo "K" Volumen (l)	A PARED REI160	A PARED COMBUSTIBLE	A PARED REI120	A PARED COMBUSTIBLE
	IEC, G1 (m)	IEC, G2 (m)	FM Global G1 (m)	FM Global G2 (m)
1 000 ≤ ... ≤ 38 000	1.5	7.5	3	9.5
> 38,000	4.5	15	6.1	16.7

Sin embargo, hay que tener en cuenta que las distancias recomendadas entre el transformador y el borde de la poza fueron establecidas implícitamente para fluido aislante mineral Clase "O", incluso antes de que el fluido aislante Clase "K" sea introducido comercialmente al mercado. A la fecha no hay referencia específica a considerar sobre esta distancia para el fluido aislante Clase "K".

## 4.1 Transformadores con aprobación FM Global

Los transformadores con aprobación FM, son aquellos que emplean aislantes líquidos clase “K” e incluyen dispositivos de protección mejorada, bajo los lineamientos según lo establecido en la referencia [2] ítem 3.3 y en el estándar “Factory Mutual Global Standard 3990” [4] y haciendo que la frecuencia de incendios en este tipo de transformadores se considere lo suficientemente reducida, como para que no sea necesaria la protección contra incendios [4].

El estándar FM Global 3990 [4] aplica para transformadores de potencia y distribución con aislamiento líquido, tanto enfriados naturalmente como para transformadores que utilizan un medio de refrigeración de circulación forzada. La norma limita la certificación para transformadores con refrigeración natural (KNAN) solo para potencias entre 5 a 10 000 kVA y clase de 35 kV o inferior. La certificación de transformadores más grandes requerirá el uso de medios de enfriamiento de circulación forzada de aire o líquido (agua o aceite) [4].

La protección mejorada básicamente consiste en una mayor resistencia del tanque, alivio de presión, protección contra fallas de alta corriente y protección contra fallas de baja corriente.

Es decir, la calificación de un transformador certificado bajo FM global, según estándar FM Global 3999, es aplicable hasta ahora solo para niveles en media tensión.

Las distancias horizontales de separación por protección al fuego entre transformador y edificios para los transformadores certificados por FM Global, se puede ver señalados en color verde en la tabla 4-1, basada en la referencia [2] tabla 5.

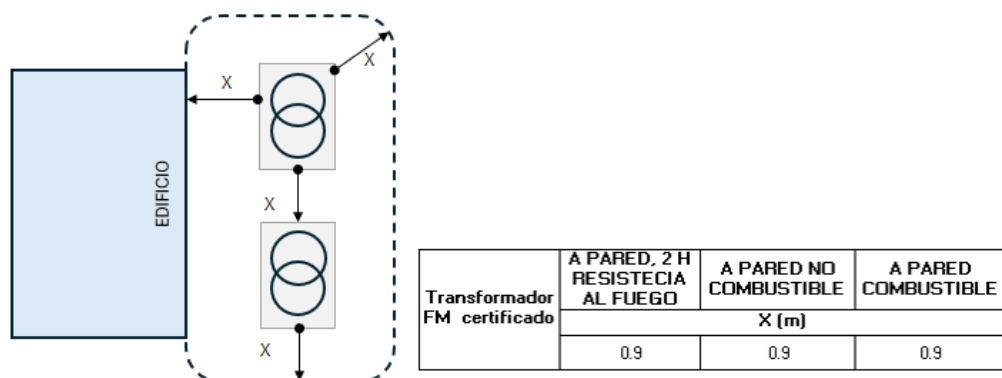


Fig. 4.1-1 Arreglo con distancias entre transformadores certificados por FM Global

## 5. Diferencias de criterios IEC y FM Global, en las distancias de separación para transformadores con fluidos aislantes Clase "K".

En resumen, las diferencias entre los criterios de la IEC [1] y FM Global [2] en cuanto a las distancias de separación para transformadores con fluidos aislantes clase "K" incluyen:

- Punto de medición de la distancia de seguridad.

El punto considerado para la medida de la distancia de seguridad considerada por la IEC, que la toma desde la cuba de del transformador hacia otros transformadores, muros corta fuegos y edificaciones con materiales no combustible y combustible. Mientras que para el estándar FM Global considera esta medida desde el borde de la poza de retención del líquido aislante, esto implica considerar además una distancia de al menos un 20% de la altura al tanque conservador según la IEC [1] y 1.5 m según la IEEE [10]. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las distancias recomendadas entre el transformador y el borde de la poza fueron establecidas implícitamente para fluido aislante mineral Clase "O" actualmente las normas IEC y IEEE no dan referencia específica a alguna diferencia para el fluido Clase "K".

- Resistencia al fuego de muros o barreras cortafuegos.

El muro cortafuego o barreras cortafuego según IEC serán de un material con una resistencia al fuego como mínimo de 60 minutos (REI60) [1], incluso de no ser posible respetar la distancia recomendada a las edificaciones y de no disponer de una barrera entre el transformador y la edificación, las paredes de la edificación deben ser de una resistencia al fuego de como mínimo de 90 minutos (REI90) [1]. Mientras que para la FM Global la resistencia al fuego para estos elementos es de 120 minutos [2].

- Distancias reducidas para transformadores con características específicas, "protección mejorada".

Las distancias reducidas consideradas por la IEC para transformadores que además de emplear un fluido aislante menos inflamable (Clase "K"), consideran un conjunto de equipamiento y características mecánicas en la cuba del transformador, llamada "protección mejorada", cuyos ejemplos de sus características se referencian en FM Global, "Property Loss Prevention Data Sheet 5-4" [2] e IEC 60076-13 [3]. Ambos documentos coinciden en la aplicación de estas distancias reducidas, solo aplica a transformadores hasta 10 MVA y con una tensión primaria de hasta 35 kV para FM Global, hasta 24 kV [3] y 38 kV [1] para IEC.

- Distancias reducidas para transformadores certificados por FM Global.

Bajo el estándar FM Global, existe una certificación que caracteriza a un transformador bajo aprobación FM Global, que determina una sola distancia reducida para este tipo de transformadores, **respecto a materiales no combustible, combustible** incluyen edificaciones de 0.9 m desde el borde de la poza de retención del fluido aislante, siempre aplicable para transformadores hasta 10 MVA, clase 35 kV [4].

## Referencias

- [1] IEC 61936-1:2021, Power installations exceeding 1 kV AC and 1,5 kV DC – Part 1: AC
- [2] Factory Mutual Global, Property Loss Prevention Data Sheets 5-4
- [3] IEC 60076-13:2006, Power transformers - Part 13: Self-protected liquid-filled transformers.
- [4] Factory Mutual Global, Standard 3990
- [5] TB 537, Guide for Transformer Fire Safety Practices
- [6] Transformadores – Fluidos Esteres HITACHI ENERGY, 2023.10.01
- [7] IEC 60076-14:2013, Power transformers - Part 14: Liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation materials.
- [8] IEC62975 Natural esters – Guidelines for maintenance and use in electrical equipment.
- [9] EN 13501-1, Reacción al fuego. Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación.
- [10] IEEE 980, Guide for containment and control of Oil Spills in substations.

## Información de Contacto



**Freddy Quijaite Dávila**

Ing. Electricista, CIP 64760

fquijaite@gmail.com