



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

TRABAJO FINAL INTEGRADOR PARA EL TÍTULO DE
ESPECIALISTA EN HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO

Desarrollo Excel para evaluar el riesgo de incendio mediante F.R.A.M.E.

Ing. Francisco Ezequiel Plaza

Tutor:

Ing. Oscar J. Graieb

Director de la Especialidad de Higiene y Seguridad en el Trabajo

Ing. Oscar J. Graieb

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

FACULTAD REGIONAL TUCUMÁN

TUCUMÁN - ARGENTINA

AÑO 2015

Dedico este trabajo y agradezco a:

A Liliana y Pancho, Mamá y Papá; por sus valores y enseñanzas.

A Ivana, Conrado y Emma; por su apoyo, paciencia y entendimiento.

A mis hermanas Fer y Dana y mi hermano Ignacio; por cuidar a mis hijos como suyos.

A mis otros hermanos, mis amigos Hernán y Luchín; por cubrirme en nuestros emprendimientos.

A mis compañeros de la Especialización, en especial a Rafa, Ángeles y Alejandro, por compartir tantas experiencias y debates.

Especialmente, al Ing. Oscar Graieb; por sus consejos y su seguimiento.

"El éxito depende de cada persona, pero en todos los casos requiere serenidad, coraje y sabiduría".

Contenido

Resumen	05
Introducción justificación objetivos e hipótesis	06
Marco legal	09
Capítulo 1: Conceptos	
1.1 Peligro	10
1.2 Riesgo	10
1.3 Exposición	11
1.4 Gestión del Riesgo	11
1.4.1 Enfoque del Método de Kinney	12
1.4.2 Enfoque de la Seguridad en los Equipos	14
1.5 El Fuego	18
1.5.1 Reacción química	18
1.5.2 Comburente	19
1.5.3 Combustible	19
1.5.4 Triángulo y Tetraedro del fuego	20
1.5.5 Productos de la combustión	21
1.5.6 Propagación del fuego	21
1.5.7 Tipos de fuego	23
1.5.8 Extinción del fuego	24
1.5.9 Sistemas de extinción	25
1.5.10 Incendio	27
1.5.11 Etapas del Incendio	28
Capítulo 2: Método FRAME	
2.1 Conceptos	31
2.2 Redes de eventos en FRAME	33
2.3 ¿Qué se puede hacer con FRAME?	33
2.4 Estimación de pérdidas	34
2.5 Definiciones y fórmulas básicas	35
2.5.1 Riesgo para muebles e inmuebles	35
2.5.2 Riesgo las personas	35
2.5.3 Riesgo para las actividades	36
2.6 Los Riesgos Potenciales	37
2.6.1 Gravedad y peor escenario	37
2.6.2 Factor de carga de fuego q	38

2.6.3	Factor de extensión i	39
2.6.4	Factor de ventilación v	42
2.6.5	Factor de área g	43
2.6.6	Factor de nivel e	44
2.6.7	Factor de acceso z	45
2.7	El Riesgo Aceptable o Admisible	46
2.7.1	Factor de actividad a	46
2.7.2	Factor de tiempo de evacuación t	50
2.7.3	Factor de medioambiente r	51
2.7.4	Factor de contenido c	52
2.7.5	Factor de dependencia d	52
2.8	Nivel de Protección D	53
2.8.1	Factor de provisión de agua	54
2.8.2	Factor de protección normal N	55
2.8.3	Factor de protección especial S	57
2.8.4	Factor de resistencia al fuego F	58
2.8.5	Factor de escape U	59
2.8.6	Factor de salvaguardo Y	61
2.9	El Riesgo Inicial Ro	62
Capítulo 3: Desarrollo del método en Excel		
3.1	Fundamentos	64
3.1.1	Relevamiento y carga de Datos	65
3.1.2	Tablas propias del método FRAME	66
3.1.3	Tablas de terceros	66
3.1.4	Fórmulas y Cálculos	67
3.1.5	Reporte de Resultados	68
3.2	Ejemplo de aplicación del Método FRAME	69
Capítulo 4		
	Conclusiones	77
	Referencias bibliográficas	78

Resumen

A fin de facilitar y sistematizar las tareas para la evaluación del riesgo de incendio en instalaciones de cualquier tipo, se presenta un desarrollo en Excel del método F.R.A.M.E., cuyas siglas significan en inglés Fire Risk Assesment Method for Engineering.

Este método permite evaluar el riesgo de incendios tanto en instalaciones tanto industriales como comerciales y viviendas particulares, nuevas y/o existentes; apoyándose en el conocimiento, experiencia y parámetros empíricos y estadísticos para calcular el riesgo de incendios. La herramienta tiene gran utilidad ya que los resultados que arroja engloban el riesgo para las personas, las actividades y los bienes, además de obtener recomendaciones para minimizar el riesgo de incendio en las instalaciones evaluadas.

Este documento se estructura presentando el método F.R.A.M.E. en una primera parte, tanto su marco conceptual como su forma de cálculo. Luego, se presenta el desarrollo en Excel, explicando cada hoja que integra la herramienta. Por último se hace una simulación del funcionamiento del desarrollo, enfocado en un depósito de esencias líquidas.

Palabras clave: incendio, evaluación, método, F.R.A.M.E., FRAME, Excel.

Introducción

Es importante asegurar la integridad física y mental de las personas que desarrollan sus actividades diversas: habitar, trabajar, divertirse, etc., en todo tipo de instalaciones. A su vez, es también importante asegurar que tales actividades puedan realizarse de manera segura e ininterrumpida, y que las instalaciones puedan servir a los propósitos de dichas actividades.

Ante esto, es importante evaluar los riesgos de incendio en las instalaciones de manera global y lo más científicamente posible; aplicando conocimiento y experiencia en casos reales que permita de manera práctica en cualquier ámbito: verificar el estado de la protección contra incendios, estimar los daños posibles o previsibles y, finalmente, analizar las alternativas de prevención y protección que refuerzan las acciones de las normas y especificaciones en la materia.

La mayoría de los métodos de evaluación del riesgo de incendio aplicados por compañías de seguros y consultoras, sólo tienen en cuenta el riesgo de incendio para los inmuebles y los bienes contenidos en ellos. Tales métodos no contemplan el riesgo para las personas ni las actividades económicas que estas desarrollan.

Por otro lado, existe poca difusión de los métodos de evaluación del riesgo de incendio existentes. Y nuestra legislación sólo contempla el cálculo de la carga de fuego, el poder extintor y la cantidad de salidas de emergencia y otros datos.

El Método F.R.A.M.E., desarrollado por Erik De Smet, permite evaluar el riesgo de incendio apoyándose en tres parámetros: 1) riesgo para el patrimonio (el inmueble y su contenido); 2) para las personas; y 3) riesgo para las actividades desarrolladas. Estudiando estos tres parámetros mediante fórmulas empíricas, datos científicos y experimentales, es posible determinar una protección eficaz ante el riesgo de incendio; tanto en edificios nuevos como existentes. Cabe aclarar que, si bien el método es empírico, fue validado de dos maneras: 1) estudiando edificios considerados como protegidos y

comprobando los resultados que arrojaba F.R.A.M.E.; y 2) analizando con este método edificios destruidos en incendios y comprobando los resultados obtenidos con lo ocurrido en tales incendios.

Si bien existen otros métodos para evaluar el riesgo de incendios, estos no tienen el triple enfoque personas-partimonio-actividad mencionado en los párrafos anteriores.

El presente documento tiene como objetivos:

1. Contribuir a la difusión del método FRAME como herramienta integral de evaluación de riesgos de incendio.
2. Facilitar su aplicación mediante su desarrollo en un Libro Excel, que permita sistematizar y automatizar la carga de datos y los cálculos necesarios.
3. Servir de complementar a la normativa vigente en materia de protección contra incendios, enriqueciéndola a fin de proteger los bienes, las personas, y su actividades; mediante la mejora

Todo la anterior mediante la siguiente metodología:

- 1) Análisis breve de la normativa vigente para determinar la contribución del método.
- 2) Análisis de la lógica del método FRAME: qué datos necesita, por qué, para qué, como los interpreta y qué cálculos se realizan.
- 3) Diseño de una lista de datos necesarios para usar en el relevamiento en campo y facilitar su carga mediante listas desplegables en Excel.
- 4) Adaptación de algunas tablas al contexto argentino, para mejorar su aplicabilidad.
- 5) Automatización de los cálculos de los factores y subfactores, que permiten el cálculo del riesgo de incendio presente para el inmueble (y su contenido), las personas y las actividades.
- 6) Diseño de un reporte automático, pero que permita la interacción del analista para realizar sus observaciones y sugerencias de mejora.

En el Capítulo 1 se trata el marco legal vigente en materia de protección contra incendios. Luego, se introducen brevemente los conceptos de peligro, exposición, riesgo y su gestión. Se repasan además conceptos tales como fuego: fenómeno químico, triángulo y tetraedro, toxicidad de los productos de la combustión, tipos de fuego, agentes extintores y sistemas de detección y extinción. Por último se detallan conceptos de incendio: características técnicas, generación, propagación y sus elementos de cada etapa.

En el Capítulo 2 se presenta una breve reseña comparativa de los métodos más importantes de evaluación del riesgo de incendio. Luego se detalla el Método F.R.A.M.E., desde su origen hasta la actualidad; describiendo las fórmulas y los parámetros que se deben determinar para obtener el nivel de riesgo para el patrimonio, las personas y sus actividades.

En el Capítulo 3 se presenta el desarrollo Excel mediante un ejemplo de aplicación en un depósito de almacenamiento de una conocida empresa de bebidas del NEA.

Para finalizar, se presentan las conclusiones a las que se llegan al aplicar el Método, teniendo en cuenta sus bondades y limitaciones.

Marco legal

En Argentina, la protección contra incendios está reglamentada en el capítulo 18 y el Anexo VII del Dec. 351/79 en áreas laborales y aplicable a sitios en general. Por otra parte, específicamente en las instalaciones de elaboración, transformación y almacenamiento de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, se aplica la ley 13.660. Este trabajo no se aplica a este tipo de instalaciones.

El capítulo 18 y el Anexo VII del Dec. 351/79 establecen los requisitos generales que deben cumplirse en las áreas de trabajo, tales como:

- definiciones de los términos que se utilizan,
- resistencia al fuego,
- medios de escape, cantidad y ubicación,
- tipos de escaleras,
- potencial extintor,
- carga de fuego,
- condiciones de situación: requerimientos específicos de localización y acceso a los edificios.
- condiciones de construcción: requerimientos relacionados con las características del riesgo de incendios de la construcción.
- condiciones de extinción: exigencias para facilitar la extinción del incendio en sus distintas etapas.

Complementando esta reglamentación, existen Códigos de edificación que incluyen requisitos de protección contra incendios.

Finalmente, se agregan las Normas IRAM 3546, para Certificación de empresas de mantenimiento de instalaciones contra incendios; IRAM 3619, para Evaluación técnica de instalaciones contra incendios y la norma IRAM 3501-1, para Certificación de instalaciones nuevas y de auditores.

Si bien la normativa es bastante completa, existe la oportunidad de completarla con el método FRAME para evaluar el riesgo de incendios desde sus tres enfoques: el inmueble y su contenido, las personas y las actividades.

Capítulo 1

Conceptos

1.1 Peligro

La Norma OHSAS 18.001:2007, define Peligro como:

"Fuente, situación o acto con potencial de causar daño en términos de daño humano o deterioro de la salud, o una combinación de estos."

Es decir, que un peligro es la situación que puede afectar de manera negativa la integridad física y/o mental de las personas, sin perjuicio de que se trate del ámbito laboral o no.

1.2 Riesgo

La misma norma OHSAS 18.001:2007, define Riesgo como:

"Combinación de la probabilidad de que ocurra un suceso o exposición peligrosa y la severidad del daño o deterioro de la salud que puede causar el suceso o exposición"

En el riesgo intervienen 2 factores importantes: 1) la probabilidad de que la persona, el patrimonio o la actividad resulten dañadas, que tiene que ver con facilidad y frecuencia con que se expone al peligro; y la gravedad del daño ocurrido durante la exposición al peligro.

Cabe aclarar que aquí se hizo extensivo el concepto al patrimonio y la actividad desarrollada por las personas, para mostrar que el concepto se aplica a los tres focos del método.

La aceptación de ciertos niveles de riesgo depende las costumbres (aceptar vivir en zonas con terremotos, conducir de manera temeraria, etc.) y, de la tecnología para reducir la probabilidad de exposición al peligro o la gravedad del daño. Se aceptará más o menos riesgo según las consecuencias, el control sobre los peligros existentes y los beneficios inherentes a tomar el riesgo. Esto lleva a definir el nivel de riesgo aceptable como el riesgo que puede ser tolerado luego de reducir los peligros presentes, la probabilidad de exponerse a ellos y la gravedad de tal exposición.

1.3 Exposición

1.3.1 Exposición continua

La exposición continua ocurre cuando se está frente al peligro durante todo el tiempo en el que se desarrolla una actividad. A mayor tiempo de exposición, mayor probabilidad de entrar en contacto con el peligro, y de este dependerá del daño que produzca, el nivel de riesgo al que se esté sometido.

1.3.2 Exposición discontinua

La exposición discontinua al peligro ocurre cuando hay una exposición intermitente o en tiempos cortos.

1.4 Gestión del Riesgo

Con la finalidad gestionar los riesgos, se hace necesario medirlos primero, es decir, cuantificarlos de alguna manera para luego priorizar las medidas de control. Es aquí donde aparecen herramientas que se apoyan en método científicos y heurísticos para lograr clasificarlos.

1.4.1 Enfoque del Método de Kinney

En condiciones de exposición discontinua, para determinar el nivel de riesgo en esta situación se puede aplicar el método Kinney (FRAME 2008, Technical Reference Guide), que se rige por la fórmula:

$$Sev \times Poc \times Exp \leq C$$

Donde:

Sev, severidad o gravedad; Poc, probabilidad de ocurrencia; Exp, exposición y C = constante que indica el nivel de riesgo aceptable.

Estos parámetros dependen de diferentes situaciones y se incluyen en tablas confeccionadas por el autor del método. Así:

Tabla 1.1: Valores de probabilidad

VALORES DE Poc.	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
10	Casi certero
6	Muy posible
3	Combinación de circunstancias inusuales
1	Posible a la larga
0.5	Concebible pero improbable
0.2	Altamente improbable
0.1	Prácticamente imposible

Fuente: De Smet, FRAME 2008, Technical Reference Guide

Tabla 1.2: Valores de severidad

VALORES DE Sev.	SEVERIDAD DE LAS CONSECUENCIAS	COSTO ESTIMADO (dólares)
100	Catástrofe con algunas muertes	Mas de 10.000.000
40	Desastre, mas de una muerte	De 1 a 10 millones
15	Fatal, una muerte	De 100.000 a 1 millón
7	Heridas mayores	De 10.000 a 100.000
3	Heridas menores	De 1.000 a 10.000
1	Heridas insignificantes	Menos de 1.000

Fuente: De Smet, FRAME 2008, Technical Reference Guide

Tabla 1.3: Valores de Exposición

VALOR DE EXP.	EXPOSICION	ESCALA DE TIEMPO
0.5	Muy raro	Una vez al año o menos
1	Raro	Algunas veces por año
2	Inusual	Una vez por mes
3	Ocasional	Una vez por semana
6	Frecuente	Diario
10	Continuo	Constante

Fuente: De Smet, FRAME 2008, Technical Reference Guide

Luego de efectuar el cálculo correspondiente con los valores de cada factor, se obtendrá el valor del nivel de riesgo. Con este valor se ingresará en la tabla 4 para determinar la prioridad que debe asignarse al programa de reducción de riesgos.

Tabla 1.4: Valores del factor de riesgo Vs. Decisión

FACTOR DE VALOR DE RIESGO	DECISION
<20	No requiere atención
20 a 70	Atención requerida
70 a 160	Requiere acción correctiva
160 a 320	Requiere acción correctiva inmediata
>320	Detener actividades

Fuente: De Smet, FRAME 2008, Technical Reference Guide, p.11

Dado que el caso de un incendio es también un peligro de exposición no continua, el método de Kinney permite aplicar una fórmula básica similar para el método FRAME, como la que se muestra a continuación:

$$R = \frac{P}{A \times D} \leq 1$$

Donde R, es el nivel de riesgo; P el riesgo potencial, decisivo para la severidad o gravedad; 1/D indica la probabilidad de ocurrencia y A es una medida de la exposición (mayor exposición de los bienes, la personas y las actividades, menor es el riesgo aceptable).

La similitud entre esta fórmula básica del método FRAME y la expresión del método Kinney, muestra que el primero no es un método meramente de

puntuación de variables, sino uno basado en la probabilidad, severidad y exposición.

1.4.2 Enfoque de la Seguridad en los Equipos

La forma de combinar severidad o gravedad, probabilidad u ocurrencia y exposición en un nivel de riesgo aceptable, se ha definido en las normas EN1050 y EN954-1, que aportan principios válidos para ser usados en la evaluación del riesgo de incendios. Y, si bien estas normas fueron reemplazada por las ISO14.121-1:2007 e ISO13849-1, tales principios aún son válidos.

Para concluir que un cierto nivel de riesgo es lo suficientemente bajo como para ser aceptado, es necesario verificar la fiabilidad de la protección. Este razonamiento fue desarrollado y promovido por las Directivas Europeas 89-392 o "Directiva de Maquinaria) y por las normas EN1050 y EN945-1 antes mencionadas, indicando como puede materializarse la seguridad de un equipo. Este importante enfoque también puede usarse en la evaluación de riesgos en un edificio.

La norma EN945.1 define cinco niveles de protección: B, 1, 2, 3 y 4; relacionados con cinco clases de riesgos y tres características de riesgo no controlado:

S: es el grado de daño posible:

- S1: daño reversible (puede curarse).
- S2: daño irreversible o muerte.

F; es la frecuencia de exposición al peligro:

- F1: baja frecuencia y/o corta duración de la exposición.
- F2: alta frecuencia o exposición larga o continua en el tiempo.

P; posibilidad de escape del riesgo:

- P1: la víctima puede identificar el riesgo y escapara a tiempo.
- P2: no hay posibilidad de escape.

Estos criterios arrojan 5 clases de riesgos:

- Clase I: S1
- Clase II: S2 + F1 + P1
- Clase III: S2 + F1 + P2
- Clase IV: S2 + F2 + P1
- Clase V: S2 + F2 + P2

A esta clasificación de riesgos le corresponde una clasificación similar de protección:

- B: protección básica. La instalación se construyó de acuerdo a los códigos de buenas prácticas con materiales de buena calidad. No hay riesgo si no hay falla de uno o más elementos. Es el mínimo nivel de protección aceptable sólo para el riesgo Clase I.
- Protección nivel 1. La instalación se construyó de acuerdo a los códigos de buenas prácticas con materiales de buena calidad, y la confiabilidad de los materiales está garantizada por tests, sobredimensionamiento o redundancia. Este nivel de protección es aceptable para los riesgos Clase I y II.
- Protección nivel 2. La instalación cumple con los requerimientos del nivel de protección 1, y se chequean regularmente los sistemas de protección. Este nivel es aceptable ante riesgos Clase II y III.
- Protección nivel 3. La instalación cumple los requerimientos del nivel de protección 2. Además, una falla en una parte del sistema no inutiliza todo el sistema de protección, y tales fallas se detectan rápidamente. Nivel sólo aceptable en riesgos Clase III y IV.
- Protección nivel 4. La instalación cumple los requerimientos del nivel de protección 3. Además, una falla en el sistema de protección se

detecta inmediatamente y múltiples fallas no inutilizan tal sistema.
Este nivel sólo es aceptable en riesgos Clase V.

Cabe aclarar que redundancia, se refiere a duplicar los componentes críticos o funciones de un sistema, para incrementar la fiabilidad del sistema.

Los criterios anteriores se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 1.5: Clases de Riesgo vs Niveles de Protección

Criterios	Clase de Riesgo	Nivel de Protección				
		B	1	2	3	4
S1	I	✓	✓	✓	✓	✓
S2+F1+P1	II	✓	✓	✓	✓	✓
S2+F1+P2	III	✓	✓	✓	✓	✓
S2+F2+P1	IV	✓	✓	✓	✓	✓
S2+F2+P2	V	✓	✓	✓	✓	✓

Fuente: De Smet, FRAME 2008, Technical Reference Guide

Los requerimientos de protección se basan en los siguientes principios:

- La probabilidad de aparición de un peligro es más o menos constante: la mayoría de las máquinas se fabrican con una cierta vida útil y, así, una probabilidad de falla inherente.
- La fiabilidad de un sistema de elementos se mejorará con ensayos, monitoreo y un diseño a prueba de fallas.
- Se puede diferenciar la situación cuando la víctima puede escapar o no del riesgo. Una alarma rápida es esencial.
- Si la protección es fiable, se reducirá la ocurrencia de accidentes.
- Los sistemas de protección deben hacerse fiables con monitoreos, auto-vigilancia y redundancias.

Es importante tener en cuenta que la protección es sólo la segunda defensa; la prevención está primero siempre.

El deber de prevenir riesgos es una prioridad. Los riesgos deben reducirse en la fuente de la situación peligrosa reemplazándolos, donde fuera posible, por situaciones más seguras. La aplicación del principio general de prevención significa, en la práctica el riesgo residual se encontrará en las clases más bajas de riesgos, donde se requieren medidas de protección menos elaboradas.

Todos los principios explicados para equipos, son aplicables a la protección contra incendios, tanto en edificios como personas y actividades.

Al usar materiales resistentes al fuego en la construcción de inmuebles de todo tipo, es equivalente a sobredimensionar o hacer redundante algunos sistemas de protección. Para limitar la propagación del fuego, los materiales que se usan pasan por pruebas exhaustivas y los sistemas de detección de incendios se hace más confiable mediante la auto vigilancia. Los sistemas de rociadores están sujetos a monitoreo para asegurar que funcionarán bien, pero se prefieren los monitoreos redundantes, Las brigadas contra incendios se mantienen activas mediante la combinación del entrenamiento, la dispersión de los miembros de manera estratégica y mediante la redundancia.

La clasificación de riesgos en 5 clases y protecciones en 5 categorías es una herramienta de decisión. En realidad, existe una variedad muy amplia de daños posibles y un amplio espectro de sistemas de protección disponible. Así, la variedad de factores es tan larga, que es aconsejable un enfoque más gradual de riesgos y protecciones. La evaluación detallada de un gran número de factores que hace atractivo a FRAME para la evaluación del riesgo de incendios.

1.5 El Fuego

1.5.1 Reacción química

Cuando se combinan dos sustancias en fase gaseosa, una llamada comburente y la otra llamada combustible, se produce una reacción química de óxido-reducción o REDOX, llamada comúnmente combustión. Se dice que es una reacción en cadena, porque sólo se necesita que se inicie y la propia reacción produce lo necesario para mantenerse, mientras se mantengan presentes los reactivos. En esta reacción se libera: 1) energía proveniente de la rotura de los enlaces químicos presentes en sus moléculas, que se usa para producir calor y energía mecánica; 2) Dióxido o Monóxido de carbono y 3) Otros compuestos, relacionados con el combustible.

La reacción de combustión se produce con un desprendimiento de calor, y en ocasiones puede estar acompañada por una llama. Este desprendimiento de calor hace que la reacción se auto mantenga, ya que facilita las condiciones de temperatura para que los reactivos se combinen.

Además se producen diversos gases como productos de la combustión, que dependerán de la estructura química del combustible. Sin embargo, los gases más comunes son el Dióxido de Carbono (CO_2) y el Monóxido de Carbono (CO). El primero se produce en la reacción cuando hay una cantidad mínima necesaria o exceso de Oxígeno, mientras que el Monóxido de Carbono (CO), cuando este es menor.

Para que la reacción se produzca, es necesario que el combustible y el comburente se encuentren en cantidades determinadas por el tipo de compuestos. También es necesaria cierta **energía de activación** para que se inicie la combustión, proporcionada por chispas de cualquier fuente, calor de otros cuerpos e incluso compuesto químicos, etc.

La combustión puede ser:

- Lenta: cuando hay poca emisión de luz (llama) y calor.

- Rápida: cuando hay fuerte emisión de luz y calor y baja velocidad de propagación.
- Deflagrante: conocida como Deflagración, cuando la combustión se produce por la presencia de polvos finamente divididos en el aire. La velocidad de propagación es mayor a la anterior, pero menor a la velocidad del sonido. Se detiene al consumirse el polvo, pero puede originarse la combustión de otros combustibles presentes al momento de la deflagración. La luz generada es como la de un flash, provocando además quemaduras graves por la gran radiación infrarroja y la temperatura desprendida (hasta 1800 °C).
- Detonante, conocida como Detonación o Explosión, se produce cuando la velocidad de propagación de la llama superior a la velocidad del sonido. El combustible arde a gran velocidad, liberando gran presión rápidamente y ocasionando daños a las personas y bienes cercanos.

1.5.2 Comburente

El comburente es llamado agente oxidante. Puede ser: Agua Oxigenada, Ozono, Dicromato de Potasio, Permanganato de Potasio, etc. En el caso de incendios, el más común es el Oxígeno (O₂), que está presente en el aire en un 21%.

1.5.3 Combustible

El combustible es una sustancia que puede liberar energía cuando reacciona con un comburente. Los combustibles pueden ser sólidos (madera, papel), líquidos (alcohol etílico, nafta) o gaseosos (gas natural, propano). Como la combustión es una reacción en fase gaseosa, se necesita que los combustibles estén en este estado; al suministrar calor, los combustibles sólidos y líquidos desprenden vapores que reaccionan con el comburente.

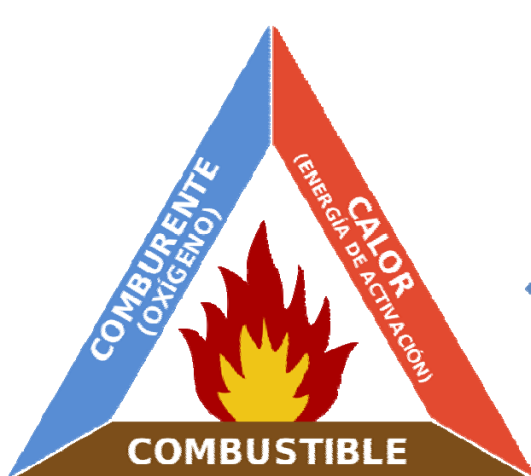
Entre otras, los combustibles tienen las siguientes características importantes:

- Punto de Inflamación: es la mínima temperatura a la cual un líquido desprende vapores suficientes, que al mezclarse con el comburente y en presencia de llama o chispa, producen la ignición de la reacción.
- Temperatura de auto ignición: es la mínima temperatura a la que se debe calentar cualquier sustancia para que se produzca su combustión en ausencia de llama o chispa.
- Límite de inflamabilidad

1.5.4 Triángulo y Tetraedro del fuego

Como se detalló antes, para que se produzca la combustión, se necesita combustible, oxígeno, calor y, para que se mantenga, es necesaria la reacción en cadena.

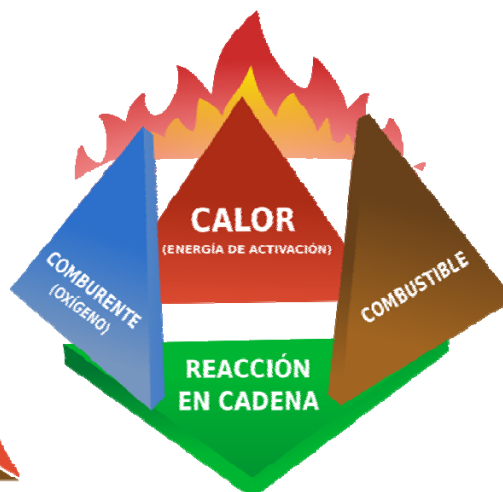
Los tres primeros componentes dieron origen al Triángulo del fuego, con la idea de mostrar los componentes que permiten el fuego. Luego se introdujo el concepto del Tetraedro del fuego, que incluía el concepto de la reacción en cadena.



Triángulo de Fuego

Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/>

File:Tetraedro_del_fuego.svg



Tetraedro de Fuego

Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/>

File:Tetraedro_del_fuego.svg

La idea es mostrar de manera rápida, que eliminando cualquier lado del triángulo o cara del tetraedro, es posible apagar el fuego. Los métodos de extinción utilizan este principio para eliminar el fuego.

1.5.5 Productos de la combustión

En la reacción química de combustión existen varios productos:

- Llama: que se observa en muchos casos en forma de luz.
- Humo: que son partículas de carbón en una reacción incompleta.
- Calor: que es la energía que se libera al arder el combustible.
- Gases: que se producen durante la reacción, y que pueden ser tóxicos o no. La cantidad y variedad depende del tipo de combustible, de su relación en cantidades con respecto al comburente: Entre los más comunes se encuentra el Dióxido de carbono (produce asfixia), Monóxido de carbono (produce envenenamiento por desplazamiento de la hemoglobina en la sangre, que no puede transportar el oxígeno, y tampoco permite que esta descargue el oxígeno en los tejidos), Acido clorhídrico, Óxidos de nitrógeno, Dióxido de azufre y otros.

En muchos casos, el humo y los gases son más peligrosos que las llamas para las personas. El humo funciona como irritante de las mucosas y el sistema respiratorio y los gases tóxicos altamente mortales.

1.5.6 Propagación del fuego

En un ambiente, el calor desprendido en la reacción de combustión se desplazará de un punto de mayor hacia otro de menor temperatura, a fin de lograr un equilibrio térmico (igual temperatura) en todo el ámbito.

Esta propagación se producirá por tres métodos diferentes, que pueden actuar individualmente o, en la mayoría de los casos, combinados:

- Conducción: el calor se transfiere de una molécula a otra vecina por vibraciones que producen fricción entre ellas. Puede producirse en

mayormente en sólidos (tienen las moléculas más juntas), aunque también en líquidos y gases. Depende de la conductividad térmica (facilidad para conducir el calor) que tienen los materiales.






- **Convección:** se produce cuando existen diferencias de temperatura en masas de gases y líquidos, que producen diferencias de densidad en un mismo compuesto. Para lograr el equilibrio térmico, un volumen de fluido caliente (más cerca del fuego, menos denso); se desplazará hacia la parte superior del ambiente, mezclándose con la masa de fluido fría (más lejos del fuego, menos densa).
- **Radiación:** se produce cuando un cuerpo a mayor temperatura transmite ondas electromagnéticas infrarrojas o cercanas a ellas, a otro cuerpo a menor temperatura.



1.5.7 Tipos de fuego

El fuego se clasifica según el combustible que interviene. Se presenta a continuación un cuadro con dicha clasificación:

Tabla 1.6: Tipos de Fuego

Tipo de fuego	Origen	Ejemplos/Materiales	Representación
Clase A	Sólidos	Papel, madera, telas, hojas secas y residuos en general	
Clase B	Líquidos	Alcoholes, hidrocarburos líquidos y sus derivados, algunos plásticos y sólidos de bajo punto de fusión	
Clase C	Electricidad	Sustancias en contacto con electricidad o equipos conectados a ellas. El fuego se originan por sobrecargas, cortocircuitos o defectos en instalaciones.	
Clase D	Metales Alcalinos	Metales alcalinos que reaccionan violentamente en contacto con oxígeno; sodio, magnesio, potasio, calcio	
Clase K	Grasas y aceites presentes en cocinas (Kitchen)	Tanto usados para cocinas directamente como los encontrados en ductos, campanas y equipamiento de cocina en general.	

Fuente: Elaboración propia

1.5.8 Extinción del fuego

Una vez desatado el fuego, se debe intentar eliminarlo de inmediato para evitar su propagación. Tomando en cuenta el tetraedro del fuego, eliminando un elemento, se elimina el fuego. A continuación, se detallan los métodos:

- **Enfriamiento:** Consiste en absorber el calor del material incendiado bajando su temperatura por debajo del punto de ignición. El medio más frecuente para lograrlo es la utilización de agua.
- **Sofocación:** Consiste en eliminar, desplazar o enrarecer el oxígeno del área incendiada con material inerte; por ejemplo: el dióxido de carbono, gases limpios y las espumas sintéticas.
- **Eliminación del combustible:** Consiste en eliminar la fuente que provoca el fuego, por ejemplo: cerrar una llave o retirar materiales.
- **Rotura de la reacción de cadena:** Consiste en inhibir la propagación. Los polvos químicos secos sobre las llamas, impide el contacto de radicales libres que facilitan la reacción en cadena, extinguiendo el fuego.

Los agentes extintores que se utilizan, actúan sobre las componentes del fuego, y dependerán exclusivamente del tipo de fuego que se trate.

En la tabla a continuación, se muestran los agentes extintores y el tipo de fuego sobre el que actúan. Es importante que conocer la hoja técnica del extintor y su poder de extinción.

Tabla 1.7: Tipos agentes extintores

	Agua	Agua Pulverizada	AFFF	Dióxido de Carbono (CO ₂)	Polvo Químico Seco ABC	Acetato de Potasio	Halogenados (HCFC)	Polvo Seco
Clases de Fuegos	Disminuyen la temperatura por debajo de la ignición	Disminuyen la temperatura por debajo de la ignición	Disminuyen la temperatura y aíslan el combustible del oxígeno.	Desplazan el oxígeno y disminuyen el calor.	Interrumpen la reacción química del tetraedro de fuego.	Producen saponificación de las grasas aislándolas del oxígeno.	Interrumpen la reacción química. No dejan residuos como los de polvo seco ABC.	Borato de Sodio 85%
	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	No
	No	No	Si	Si	Si	No	Si	No
	No	Si	No	Si	Si	No	Si	No
	No	No	No	No	No	No	No	Si
	No	No	No	No	No	Si	No	No

Fuente: Elaboración propia con información de www.extintoresmelisam.com.ar

Para el fuego de Clase K se utilizan los extinguidores de solución acuosa de acetato de potasio. Tienen acción refrigerante y actúan refrigerando el área y saponifican las grasas presentes, que aísla la superficie del oxígeno presente en el aire. La salida del agente extintor forma una nube que evita la dispersión de la grasa y, así la extensión de la llama. Se puede usar en cualquier ámbito donde se usen grasas y aceites y exista el riesgo de incendio: cocinas de todo tipo,

1.5.9 Sistemas de extinción

Equipos portátiles. Son recipientes cerrados que contienen en su interior una sustancia extintora que puede ser proyectada y dirigida sobre un fuego por la acción de una presión interior.

Instalaciones fijas. Las más usadas son los sistemas de red de agua (hidráulica), destacando como más frecuentes las siguientes:

- Sistema de columna seca. Formado por una canalización de acero vacía, para uso exclusivo de bomberos, con hidrantes y mangueras en cada piso, y una toma de alimentación a la fachada para conexión de bomberos, quienes abastecen agua y presión al sistema.
- Sistema de hidrantes exteriores. Compuesto por una fuente de abastecimiento de agua, una red de alimentación y los hidrantes exteriores necesarios. Que podrán ser del tipo de columna hidrante exterior (CHE) o hidrante de arqueta (boca hidrante).
- Red hidráulica contra incendios. Es una instalación formada por una fuente de abastecimiento de agua, sistema de bombeo, una red de tuberías para conducción del agua y los gabinetes con hidrantes, mangueras y pitones necesarios. A estos sistemas en España se les llama Bocas de Incendio Equipadas (BIE).
- Sistemas de extinción por rociadores automáticos (sprinklers). Son instalaciones automáticas

fijas que, permiten detectar y apagar el fuego. Está formada por una red de tuberías y un conjunto de rociadores que distribuyen el agua en forma de lluvia, cuando se alcanza una temperatura determinada. Cada rociador cubre una superficie de entre 9 y 16 m².

Adicionalmente a los equipos y sistemas de extinción, se debe contar obligadamente con sistemas de detección y alarmas. Estos equipos y sistemas son de gran importancia dado que una detección oportuna permite el ataque y control de un fuego antes de que se establezca la reacción en cadena y se salga de control. De igual manera, la capacidad de alertar a las personas permite una reacción oportuna del personal brigadista y poner a salvo a los habitantes naturales del recinto.

Todos los equipos y medios de prevención y lucha contra incendio deben incluirse en un programa de mantenimiento, cuyas operaciones deberán ser realizadas por personal responsable de incendios de la instalación, o por personal especializado del fabricante o instalador del equipo o sistema.

Por último, toda instalación debe contar con un “grado de protección” de acuerdo a la normatividad y estándares aplicables. Este grado de protección está determinado por el mayor o menor tiempo disponible de un sistema para controlar un incendio. Aumentando el grado de seguridad a medida que disminuye el tiempo necesario para controlar el incendio.

De acuerdo con lo expuesto y una vez analizados los diferentes sistemas de detección y extinción se pueden considerar los siguientes supuestos de protección del riesgo:

- Utilización de extintores y equipos portátiles
- Utilización de detectores de incendio
- Utilización de sistemas fijos sin agente extintor propio
- Utilización de sistemas fijos con agente extintor propio
- Utilización de sistemas fijos automáticos.

1.5.10 Incendio

Al hablar de fuego, se habla de una reacción de combustión controlada, que produce llama, calor, humo y gases con alguna utilidad: producir calor, energía mecánica, etc. Cuando el fuego sale de control, se inicia el incendio.

Un incendio tiene 2 características que expresan la gravedad y su potencial de destrucción:

- Tasa de liberación de calor: que es la velocidad con que se quema el combustible y se libera energía al medio. Se mide como el calor liberado por unidad de tiempo. en J/s o W/s. Depende del poder calorífico del combustible, su forma y estado, la velocidad con que se quema y la fuente de aire disponible. Esta tasa es importante en el crecimiento del incendio, cuando hay abundancia de oxígeno. En la mayoría de incendios, el calor se libera un 30% por radiación y un 70% por convección.

- Carga de fuego: que es la energía disponible que puede liberar el combustible. Expresa el riesgo potencial o gravedad del incendio. Se determina la cantidad de energía que liberará el combustible si se consumiera totalmente en el recinto. Se expresa como kilogramos de combustible por unidad de superficie.

Existen dos fenómenos importantes que ocurren en un incendio, el flashover y el backdraft.

- El flashover ocurre luego de iniciado el incendio en un ambiente cerrado, pero antes que se desarrolle con su máximo esplendor. Se trata de un aumento repentino de la velocidad de propagación de un incendio debido a la combustión súbita de los gases acumulados bajo el techo, y la inflamación de todos los materiales combustibles presentes en el ambiente cerrado por la radiación emitida por esos gases calientes.
- El backdraft es una explosión violenta causada por la entrada de aire fresco en un ambiente cerrado con un incendio en progreso, con acumulación de humos combustibles y deficiencia de oxígeno. Suele llamarse explosión de gas de fuego, con un gran aumento de presión y temperatura. La onda de presión producida destruye puertas y ventanas y daña las estructuras.

1.5.11 Etapas del Incendio

En la reacción en cadena que se desarrolla en el incendio, aparecen 3 etapas: ignición, propagación y consecuencias.

En la ignición, con respecto al combustible, intervienen cuatro factores físico-químicos: el punto de inflamación, la temperatura de auto ignición, capacidad calorífica y los límites de inflamabilidad. Los tres primeros factores intervienen en un balance de calor en el medio reaccionante:

$$q_A = q_G - q_E$$

Donde:

q_A : es el calor acumulado en una masa determinada, por unidad de tiempo.

q_G : es el calor generado en esa masa, por unidad de tiempo.

q_E : es el calor eliminado en el sistema, por unidad de tiempo.

La ignición se produce cuando el calor acumulado es tal que eleva la temperatura por encima de la temperatura de auto ignición del combustible.

Una concentración baja del combustible o comburente, limitará el calor generado; el calor eliminado será mayor y el calor acumulado negativo. En esta situación, no se producirá la auto ignición. Esto se logra en la prevención para evitar el incendio.

La propagación es la evolución del incendio hacia otras zonas del ámbito en el que se inició. Puede producirse al transferirse el calor por conducción, convección y radiación.

El fuego puede transmitirse verticalmente a través de ventanas, ductos de aire, huecos de servicios y ascensores; o de manera horizontal por la disposición de los materiales, puertas, ventanas, huecos en paredes, cables, colapso de paredes, etc.

En la propagación intervienen varios factores, que deben atenderse en la protección contra incendios:

- Factores técnicos:
 - Ubicación, distribución y características de los combustibles en el recinto.
 - Carga térmica en el área o sector (Mcal/m²).
 - Resistencia al fuego del edificio (estructuras y ductos).
 - Existencia de medios de detección, alarma y extinción.
 - Mantenimiento de los medios anteriores.

- Factores humanos:
 - Negligencia o ignorancia de reglas de protección contra incendios.
 - Entrenamiento en técnicas de protección contra incendios.
 - Organización para la protección contra incendios.

- Factores ambientales:
 - Aire libre, ventilación; mayor aporte de aire para la combustión, eliminación del calor generado, dispersión de productos de la combustión, liberación de la presiones generadas por los gases liberados durante el incendio.
 - Si el recinto es confinado, hay menor aporte de comburente, con lo cual mayor producción de gases tóxicos o inflamables/explosivos, más calor acumulado y menor dispersión de las presiones sobre las estructuras.

Entre las consecuencias que se presentan, todos los factores de la ignición y la propagación generan los efectos nocivos sobre las personas, los bienes, el medio ambiente y las actividades que se desarrollan. Tales consecuencias aparecen por la imposibilidad de evacuación, intoxicación con los gases y quemaduras, y todo lo relacionado con las fallas de protección contra incendios.

Capítulo 2: Método F.R.A.M.E

2.1 Conceptos

Se trata de un desarrollo del ingeniero belga Erik De Smet (1), basado en otros métodos de evaluación de riesgos de incendio tales como Gretener, ERIC, normas alemanas DIN 18230 y austríacas TRBV100 y desarrollos de empresas aseguradoras para el cálculo de primas. Sus siglas significan Fire Risk Assessment Method for Engineering, es decir Método de Evaluación de Riesgo de Incendio para Ingeniería.

Como se dijo antes, permite calcular el riesgo de incendios para los bienes, tanto muebles como inmuebles, las personas y las actividades. Esta es la principal diferencia sobre los demás métodos disponibles.

Abajo, se muestra un cuadro comparativo de los métodos más usados para determinar el riesgo:

Tabla 2.1: Comparativa de métodos de evaluación de riesgos de incendios

Item	Intrínseco	Meseri	Purt	Gretener	ERIC	FRAME
Autor	Miner	MAPFRE	G. Purt	M. Gretener	Sarrat y Cluzel	E. De Smet
Año	1981	1978	1971	1965	1977	1988
País	España	España	Alemania	Suiza	Francia	Bélgica
Fuentes	Original	Original	Gretener	Original	Gretener	Gretener y ERIC
Aplicación	Establecimientos de uso industrial.	Lugares de riesgo y tamaño medio.	Lugares de riesgo medio.	Toda clase de edificaciones e industrias.	Toda clase de edificaciones e industrias.	Toda clase de edificaciones e industrias.
Forma de Medición	Por la carga térmica y combustibilidad de los materiales y por la actividad industrial desarrollada.	Global de forma rápida y simple.	Dos valores: riesgo para el edificio y para el contenido. Considerando indirectamente a las personas. Orientaciones para detección y extinción.	Un solo valor, considerando la propiedad, y considerando a las personas de forma indirecta.	Dos valores, para las personas y los bienes.	Tres valores, para el patrimonio, las personas y las actividades.
Cálculo	Mediante ecuación.	Mediante ecuación.	Mediante dos ecuaciones y una gráfica para aspectos de protección	Mediante una ecuación. Compara el riesgo admisible con el efectivo.	Mediante dos ecuaciones y una gráfica para aspectos de protección	Mediante tres ecuaciones principales. Además de un valor "Ro" general de orientación.
Factores agravantes que engloba	El riesgo de la actividad, coeficiente de combustibilidad y densidad de la carga de fuego.	Construcción, situación, procesos, factores de contracción, propagación y destructibilidad.	Carga térmica de muebles e inmuebles, combustibilidad, áreas cortafuegos, peligros para las personas y bienes.	Carga térmica de muebles e inmuebles, combustibilidad, peligros para las personas y bienes y superficie.	Básicamente las mismas que Gretener además de opacidad de humos y tiempo de evacuación.	Igual que ERIC y Gretener más un factor de dependencia, un factor ambiente, acceso y ventilación.
Factores de riesgo que engloba	Para el riesgo calculado, el reglamento indica el tipo de medida a tomar.	Presencia o ausencia de vigilancia. Extintores, hidrantes, red, detección automática, rociadores y extinción.	Para el riesgo calculado el resultado del diagrama nos dirá el tipo de medida especial de protección.	Normales (extintores, hidrantes, etc.), especiales (detección, transmisión, etc.) y construcción (resistencia estructural al fuego, etc.)	Idem Gretener.	Idem Gretener y ERIC más varios factores de evacuación y de rescate.

Fuente: J. Fuertes Peña y J. C. Rubio Romero - Sección Técnica, www.insht.es

El método F.R.A.M.E. se apoya en cinco principios de base, según su propio autor:

1. Se considera que en un edificio bien protegido existe un equilibrio entre el peligro de incendio y la protección. Medido por números se puede decir que en este caso, el cociente peligro/protección = riesgo es <1 . Un valor mayor refleja una situación de peligro.
2. Se puede medir el riesgo por tres series de cálculos. Una serie mide el peor escenario posible como "riesgo potencial P"; la segunda serie mide la magnitud posible de las consecuencias, es el "riesgo admisible A"; y la tercera serie integra las dos anteriores para definir el valor del riesgo "R".
3. Se puede calcular la protección a partir de valores específicos para las diferentes técnicas de protección. El peligro de incendio se puede reducir por la previsión de medios y medidas de protección adecuados como: red hidráulica, medios de evacuación, resistencia al fuego del edificio, extintores, hidrantes interiores, instalaciones automáticas, brigadas para extinción y bomberos públicos, separación física de riesgos, etc.
4. Hay que efectuar tres cálculos correspondientes a tres aspectos del incendio. Un primer cálculo para el edificio y su contenido, un segundo para las personas presentes, y un tercer cálculo para la actividad económica que tiene lugar en el edificio. Los factores no afectan de la misma manera el riesgo para el patrimonio, el riesgo para las personas o el riesgo para las actividades. En realidad el riesgo potencial y el riesgo admisible no son los mismos y los medios de protección actúan diferente por cada tipo de riesgo.
5. La unidad de cálculo es un compartimiento de un piso. Cuando hay varios compartimientos o más de un piso, se necesita una serie de cálculos por compartimiento y por piso o, por lo menos, un juego de cálculos por los compartimientos más representativos o peligrosos.

2.2 . Redes de eventos en FRAME

FRAME se basa en redes de eventos, ya que usa una combinación relaciones de causa y efecto y probabilidades de éxito o falla. Pero en lugar de árboles de causas, se basa en escenarios de "peores casos". Los demás escenarios se incluyen estadísticamente como escenarios parciales de "peores casos", de igual manera en que lo hacen las empresas aseguradoras.

La ponderación de factores en FRAME evalúan los elementos que impactan en la probabilidad, como también en la gravedad del incendio.

2.3 . ¿Qué se puede hacer con FRAME?

El objeto de los cálculos de FRAME es determinar si se alcanza el equilibrio entre riesgo, protección y exposición. Para un ámbito protegido, los valores de Riesgo son iguales o menores a 1.

Se puede aplicar en varias situaciones:

- Para chequear la situación existente sin diseñar mejoras: el cálculo balanceará los puntos débiles y fuertes, e indicará que tan lejos se encuentra la situación real de una buena.
- Para evaluar si los sistemas de protección de incendios que cumplen con los requisitos legales para proteger la vida, pueden ser suficientes para proteger los bienes y las actividades. La lógica suele ser: "un vez que la gente está segura, el edificio puede quemarse".
- Para confirmar que los sistemas de protección de incendios es satisfactoria.
- Para evidenciar los puntos débiles en los sistemas de protección de incendios, mientras se hacen los cálculos. Así, se revelarán las áreas de posibles mejoras. Luego repetir los cálculos para validar tales mejoras.

2.4 . Estimación de pérdidas

Un aspecto interesante de FRAME es la relación entre el Valor del Riesgo R y el Daño que se puede esperar después de un incendio de magnitud. Si bien, no todos los incendios que se inician, evolucionan a un incendio de gran magnitud; el método permite definir un nivel de pérdida esperada. Se puede usar la escala siguiente:

Tabla 2.2: Relación entre Riesgo calculado y Daño

Valor de R	% de edificio destruido
Menor que 1	10% o menos
1,0 a 1,3	10 a 20%
1,3 a 1,5	20 a 30%
1,5 a 1,7	30 a 50%
1,7 a 1,9	50 a 80%
Mayor que 1,9	80 a 100%

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Esta relación tiene una aplicación adicional: permite determinar si el incendio fue intencional. Si, el cálculo arroja un valor de $R = 1,5$, le correspondería un daño del 30% del edificio, pero si el daño verificado es del 50%, se puede pensar en una "acción externa" sobre el incendio.

2.5 . Definiciones y fórmulas básicas

2.5.1 . Riesgo para muebles e inmuebles

El Riesgo de Incendio (R) se define como el cociente entre el Riesgo Potencial (P) y el producto del Nivel de Riesgo Aceptable A y el nivel de Protección (D):

$$R = \frac{P}{A \times D}$$

El Riesgo Potencial P se define como el producto del factor de carga de fuego q, el factor de extensión i, el factor de área g, el factor de nivel e, el factor de ventilación v y el factor de acceso z:

$$P = q \times i \times g \times e \times v \times z$$

El Nivel de Riesgo Aceptable A se define como la resta entre 1,6; que corresponde al valor máximo de A, y el factor de activación a, el factor de tiempo de evacuación t el factor de valor c:

$$A = 1,6 - a - t - c$$

El Nivel de Protección D se define como el producto del factor de provisión de agua W, el factor de protección normal N, el factor de protección especial S el factor de resistencia al fuego F:

$$D = W \times N \times S \times F$$

2.5.2 . Riesgo las personas

El Riesgo de Incendio para las personas R1, se define como el cociente entre el Riesgo Potencial P1 y el producto entre el Nivel de Riesgo Aceptable A1 y el Nivel de Protección D1

$$R1 = \frac{P1}{A1 \times D1}$$

Luego, el Riesgo Potencial P1 se define como el producto del factor de carga de fuego q , el factor de extensión i , el factor de nivel e , el factor de ventilación v y el factor de acceso z :

$$P1 = q \times i \times e \times v \times z$$

El Nivel de Riesgo Aceptable A se define como la resta entre una constante, 1,6 y, el factor de activación a , el factor de tiempo de evacuación t el factor de medioambiente r :

$$A1 = 1,6 - a - t - r$$

El Nivel de Protección D1 se define como el producto entre el factor de protección normal N y el factor de escape U :

$$D1 = N \times U$$

2.5.3 . Riesgo para las actividades

El Riesgo de Incendio para los ocupantes R2, se define como el cociente entre el Riesgo Potencial P2 y el producto entre el Nivel de Riesgo Aceptable A2 y el Nivel de Protección D2

$$R2 = \frac{P2}{A2 \times D2}$$

Luego, el Riesgo Potencial P2 se define como el producto del factor de extensión i , el factor de área g , el factor de nivel e , el factor de ventilación v y el factor de acceso z :

$$P2 = i \times g \times e \times v \times z$$

El Nivel de Riesgo Aceptable A se define como la resta entre una constante, 1,6 y, el factor de activación a , el factor de tiempo de evacuación t el factor de dependencia d :

$$A2 = 1,6 - a - t - d$$

El Nivel de Protección D2 se define como el producto del factor de provisión de agua W2, el factor de protección normal N2, el factor de protección especial S2 y el factor de rescate Y:

$$D = W \times N \times S \times Y$$

2.6 . Los Riesgos Potenciales

2.6.1 . Gravedad y peor escenario

El peor escenario es el de destrucción total del edificio y su contenido. La magnitud de tal destrucción se definirá por el escenario de fuego y por la controlabilidad del fuego por la brigada contra incendios.

Como se definió antes, el Riesgo Potencial P para el inmueble o edificio, se define como el producto del factor de carga de fuego q, el factor de extensión i, el factor de ventilación v, el factor de nivel e, el factor de área g y el factor de acceso z:

$$P = q \times i \times v \times e \times g \times z$$

Los tres primeros factores en la fórmula reflejan el escenario de incendio: duración (q), espacio de desarrollo (i) y condiciones de flashover (v). Los otros 3 factores reflejan el impacto de la configuración del edificio en la controlabilidad del incendio: características del espacio (g), nivel (e) y las posibilidades de acceso (z). La combinación del escenario de incendio y la controlabilidad, definen la severidad del riesgo de incendio para el edificio.

Por otro lado, para evaluar el riesgo potencial para las personas (R1), el escenario definido es el de cualquier principio de incendio. El componente que se encarga de esto es el Riesgo Potencial para las personas (P1), que se define como el producto del factor de carga de fuego q, el factor de extensión i, el factor de nivel e, el factor de ventilación v y el factor de acceso z:

$$P1 = q \times i \times e \times v \times z$$

El valor de P1 se calcula con 5 factores definidos antes, y que reflejan el escenario de incendio más probable durante la etapa de evacuación de las personas. Se tiene en cuenta la existencia de combustibles (q), la velocidad con que se desarrolla el incendio (i) y la amenaza del humo y gases (v). La complejidad de la evacuación en un edificio de varias pisos, comparada con la del edificio de un piso; las reacciones humanas en condiciones de incendio y las dificultades para brindar ayuda, se contemplan en los factores de nivel (e) de acceso (z).

Finalmente, el peor escenario para las actividades es de un incendio que alcanza todo, aún sin destruirlo. Así, la carga de fuego (q), deja de ser relevante y el Riesgo Potencial P2 se calcula como el producto del factor de extensión i, el factor de área g, el factor de nivel e, el factor de ventilación v y el factor de acceso z:

$$P2 = i \times g \times e \times v \times z$$

2.6.2 . Factor de carga de fuego q

El factor de carga de fuego se calcula con la densidad de carga de fuego aportada por los materiales de construcción del inmueble (Q_i) y la entregada por el contenido o bienes muebles (Q_m). Su fórmula es:

$$q = \frac{2}{3} \times \log (Q_i + Q_m) - 0,55$$

Los valores de Q_i y Q_m se pueden determinar calculando el calor que aporta todo el combustible presente y dividiendo en el área que ocupan. También pueden usarse tablas que expresan las cargas según el material del edificio y el uso al que se destine, usadas en otros métodos de evaluación de incendios. En el caso del presente trabajo, se usa para Q_i la tabla siguiente, y para Q_m una lista con los valores de entalpía de combustión de cada material.

Tabla 2.3: Valores comunes de Q_i

Tipo de Construcción	MJ/m ²
No combustible (cemento, acero)	0
No combustible con 10% máximo de materiales combustibles en ventanas, membranas de techos, etc.	100
Estructura de madera con revestimiento no combustible	300
Estructura resistente al fuego con pisos de madera	300
Sólo la estructura es no combustible	1000
Construcción con todos los elementos combustibles	1500

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Para el caso de los materiales en el interior del edificio, se utilizará el cálculo convencional, que requiere datos del tipo de material, la cantidad existente y la superficie total que ocupan los materiales, referidos a madera. La fórmula a usar es la siguiente:

$$Q_m = \frac{\sum_i^n Cc_i \times m_i}{S}$$

Donde: Cc_i es el calor o entalpía de combustión de cada material, expresado en MJ/kg; m_i es la masa en kg de cada material y S es la superficie en m² del sector en evaluación, (donde están contenidos los materiales).

2.6.3 . Factor de extensión i

Al observar un área incendiada, puede verse que el incendio se extiende o desarrolla de manera superficial. Este aspecto es clave para la seguridad de las personas en la evacuación, por ejemplo. La extensión del incendio, la velocidad y facilidad con que se propagará depende de varios factores. En FRAME se identifican tres factores que contribuyen al crecimiento

del incendio y su gravedad: 1) la relación volumen/superficie de combustible; 2) la inflamabilidad de la superficie y 3) las características de ignición de los materiales en la superficie. Estos factores combinados en la siguiente fórmula, permiten calcular el factor de extensión i :

$$i = 1 - \frac{T}{1000} - (0,1 \times \log m) + \frac{M}{10}$$

Donde: T es la temperatura de destrucción en °C; m es la dimensión media del sector de incendio y M es la clase de propagación de llama, adimensional.

La temperatura de destrucción T se extrae de tabla que indica la temperatura a la que se inicia la destrucción del material, aún cuando no se queme. Como en la realidad pueden existir varios materiales en un mismo sector, se usa un promedio aritmético.

Tabla 2.4: Valores recomendados de T

Tipo de Materiales	T [°C]
Líquidos inflamables	20
Seres humanos, plásticos y electrónicos	100
Textiles, madera, papel, alimento	200
Contenido de edificios de residencia	250
Maquinaria, artefactos del hogar	300
Metales	400
Materiales de construcción no combustibles	500

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

La dimensión media m relaciona el volumen total y la superficie total del ámbito. Cuando un objeto es más pequeño, arde más rápido; esto es porque la relación superficie-masa es alta. Para calcular m , es necesario conocer las dimensiones de los objetos en el ámbito. Como esto puede hacer engorroso e impráctico al método, se pueden usar valores de m basados en heurísticos, como los siguientes:

Tabla 2.5: Valores recomendados de m

Actividad desarrollada	m, [m]
Almacenamiento de pallets	1
Valor más usado	0,3
Industrias productoras de objetos pequeños	0,1
Industrias productoras de objetos delgados	0,01
Industrias productoras de pellets y similares	0.001

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

La clase de propagación de llama M, o reacción al fuego, es un indicador de la velocidad con que se propaga un incendio. Se usa una escala de 6 clases basada en las normas EN13501-1 y EN12845.

Tabla 2.6: Valores recomendados de M

Tipo de superficie de los objetos	M
Incombustible	0
Cercano a incombustible	0,5
Difícil de encender o auto extinguable	1
Materiales que arden lentamente	2
Superficies combustibles	3
Superficies inflamables	4
Superficies altamente inflamables	5

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Esta clasificación se aplica a las superficies de los materiales. Así, un contenedor metálico con nafta puede clasificarse con M=0, mientras que una TV embalada con polietileno expandido puede clasificarse con M=4 o 5. En sectores de almacenamiento, es común usar M=2,5.

Finalmente, con el valor de i es posible calcular la velocidad de liberación de calor (HRR por Heat Release Ratio), medido en KW/m², como:

$$HRR = 25 \times 10^i$$

2.6.4 . Factor de ventilación v

El factor de ventilación indica la influencia del humo y el calor dentro de un edificio. Un incendio produce gases calientes que se alojan en el techo como una capa de humo; la cual puede dañar el edificio y su contenido, además de ser una gran amenaza para los ocupantes y los bomberos. La cantidad promedio de humo producido es de 20 Nm³ (N: normales) por kg de material quemado. Con esto, cualquier edificio se llenaría rápidamente de humo si no se lo eliminara de alguna manera.

El humo puede escapar por aberturas en las paredes exteriores y el techo. Mientras el humo y el calor se mantengan adentro del área, puede ocurrir un flashover, pudiendo transformarse en un incendio incontrolable.

El factor de ventilación compara la capacidad de ventilación con las fuentes de humo. Se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$v = 0,84 + 0,1 \times \log Qm - \sqrt{k \times \sqrt{h}}$$

El primer elemento importante en el factor v, se relaciona con la eliminación potencial de calor dentro del edificio. Qm es la carga de fuego.

El segundo elemento importante es la altura h, entre el piso y el techo del ambiente. Cuanto más alto el techo, más ancha será la capa de humo antes de hacer imposible estar debajo de ella.

El tercer elemento en la fórmula es la relación de ventilación del humo, k. El fuego en sí ayudará al humo a escapar; el aumento de presión por los gases calientes provocará rotura de ventanas, etc. Algunos edificios están equipados con sistemas estáticos y dinámicos de ventilación, buscando áreas para escape del humo. Así, k resulta de la relación entre el área de escape de humo y la superficie del piso del ambiente bajo fuego.

La altura h se toma entre el piso y el techo, donde se puede acumular el humo. En techos de 2 aguas o con pendientes hacia un lado, la altura deberá tomarse entre el piso y la parte más alta del techo. Cuando en el ambiente hay entrepisos, sin divisiones, la altura debe tomarse entre el piso y la parte más

alta del techo. El modelo acepta una altura máxima de 15m, para evitar falsos valores bajos de v en los ambientes con techos altos.

2.6.5 . Factor de área g

Este factor indica la influencia horizontal del fuego. Se calcula con los valores de l , longitud teórica del ambiente, y b , el ancho equivalente; ambos en metros.

El incendio puede extenderse por todo el edificio, si no hay barreras o acciones para impedirlo. Los muros cortafuego deben tener resistencia suficiente para contener un incendio grande. En FRAME, se considera como área de incendio a toda el área de un ambiente, a menos que existan muros cortafuego que cumplan los siguientes criterios:

- Las paredes, incluyendo puertas, deben soportar al menos un incendio de 2 horas.
- Las paredes deben construirse de modo que el fuego no se extienda por encima o alrededor de estas.
- Las paredes no deben romperse si el edificio colapsa en el área de incendio.

El factor g se calcula como:

$$g = \frac{b + 5 \times \sqrt[3]{b^2 \times l}}{200}$$

La longitud teórica de un ambiente, l , es la mayor distancia entre los centros de 2 lados del ambiente. El ancho equivalente b , es el cociente entre el área total y la longitud teórica. Al definir así estas variables, cualquier ambiente de forma irregular, se asemeja a un rectángulo de área similar.

En un edificio cuadrado, el incendio puede extenderse desde el medio hacia cualquier dirección. En un edificio largo y angosto, el desarrollo del incendio se limitará cuando alcance las paredes, arrojando un valor de g más bajo que el de un edificio cuadro de igual área.

La fórmula de g considera el tamaño y la forma del ambiente. En un edificio que tiene la entrada en el lado más angosto, los valores de l y b se invertirán y reflejarán la dificultad para combatir el incendio, en comparación con un edificio que tiene la entrada por el lado más largo.

El factor de área g tiene gran influencia en la elección del sistema de protección contra incendios. Para ambientes de 1.600m² a 4.000m², el peso del factor g en la fórmula se puede balancear instalando detección automática de incendios. Para ambientes de mayor superficie, se necesitarán rociadores automáticos (sprinklers). Cuando el ambiente tiene más de 25.000 m², se aconseja instalar separadores cortafuego para reducir el riesgo.

2.6.6 . Factor de nivel e

Este factor indica la influencia vertical del fuego, es decir, hacia arriba por el humo y el calor, y hacia abajo por el calor, el daño del agua y el colapso. También evalúa la mayor dificultad que representa para los bomberos, enfrentarse a un incendio que no está a nivel del suelo.

Existen 2 formas de interpretar el factor de nivel e. Una asume que el riesgo potencial es mayor a nivel del suelo si hay más niveles hacia arriba. La otra considera que se necesita más y mejor equipamiento para combatir un incendio que está lejos del nivel de acceso. Por esto, se toma como criterio el número de niveles que el ambiente en evaluación, se encuentra del nivel de acceso.

El factor de nivel se calculará desde el nivel número E, con la fórmula:

$$e = \left[\frac{(|E| + 3)}{(|E| + 2)} \right]^{(0,7 \times |E|)}$$

Donde E se determina numerando los niveles en el edificio de la siguiente manera:

- el nivel de acceso tiene E=0.
- los niveles por encima del de acceso, se numeran con 1, 2, etc.

- los niveles por debajo del de acceso, se numeran con -1, -2, etc.

Un edificio en una pendiente puede tener accesos en distintos niveles, por lo que a esos niveles corresponde $E=0$, pero los pisos por debajo se numeran como se dijo.

En caso que existan bandejas, entrepisos o galerías en el ambiente, se deben agregar según el porcentaje de superficie respecto de la superficie total. Por ejemplo: si la galería se ubica en el nivel 1 y tiene un 40% de la superficie del piso; el valor de E puede ser $1+0,4=1,4$.

Cuando existan accesos con pasajes hacia niveles superiores, de mayor dimensión, el nivel de acceso se asigna en este nivel.

2.6.7 . Factor de acceso z

Este factor es indicador de la dificultad que tienen los bomberos para acceder al área de incendio. Se calcula con la fórmula:

$$z = 1 + 0,05 \times INT \left[\frac{b}{20 \times Z} + \frac{H^+}{25} \setminus \frac{H^-}{3} \right]$$

Donde: INT significa "parte entera" de los factores entre corchetes; y \ indica una alternativa lógica OR.

El valor de z diferencia el riesgo potencial de un edificio rodeado por otros, frente al de un edificio con calles alrededor y en un área más despejada, con suelo firme para el autobomba y demás vehículos de bomberos.

La primera parte de la fórmula relaciona el ancho equivalente b con el número de accesos Z y con 20m, la longitud estándar de manguera de incendios en muchos países. Si los bomberos deben trabajar desde un lado, necesitarán tantas mangueras para una corriente como el ancho equivalente dividido en 20m. El valor de Z se obtiene de la cantidad de accesos posibles al edificio en cada punto cardinal del nivel de acceso.

La segunda parte de la fórmula compara la diferencia de altura entre el sector en evaluación desde el nivel de acceso H^+ o H^- , con 25m hacia arriba y 3 m hacia abajo como máximo.

El factor de acceso z puede tomar valores entre 1, para edificios con fácil acceso, y 1,2 para edificios con acceso limitado. Se pueden encontrar valores mayores, pero están relacionados con sectores donde es casi inaccesible el ingreso de bomberos; como en un 3er. subsuelo o rascacielos.

2.7. El Riesgo Aceptable o Admisible

Con una visión realista de la situación, el riesgo admisible indica que se acepta un cierto riesgo de incendio residual. Por esto no debe alcanzarse un límite fijado por convención, y que las consecuencias no sean irreversibles.

Para el edificio y su contenido, el Riesgo Admisible A , se calcula como:

$$A = 1,6 - a - t - c$$

Para las personas, el Riesgo Admisible $A1$, se calcula como:

$$A1 = 1,6 - a - t - r$$

Para las actividades, el Riesgo Admisible $A2$, se calcula como:

$$A2 = 1,6 - a - c - d$$

Donde: a es el factor de activación; t es el factor de evacuación; c es el factor de contenido; d es el factor de dependencia y r es el factor de medioambiente.

2.7.1 . Factor de actividad a

El factor de actividad a representa las posibles fuentes de ignición presentes. Se calcula como la suma de los factores a_i , que dependen de las actividades principal y secundaria, de los procesos y sistemas de calefacción,

de las instalaciones eléctricas y del uso de productos inflamables. En las tablas siguientes, se presentan los valores que puede tomar a_i :

$$a = \sum_1^5 a_i$$

Tabla 2.7: Valores para Actividades Principales, a_1

Fuentes de incendio: Actividades Principales	a_1
A1. Baja carga de fuego y poca cantidad de fuentes de ignición (residencial, oficinas, etc.)	0
A2. Baja carga de fuego y cantidad moderada de fuentes de ignición (Industrias de productos incombustibles)	0
B. Carga de fuego moderada y cantidad moderada de fuentes de ignición (Industrias, grandes tiendas y comercios)	0,2
C. Alta carga de fuego y cantidad moderada de fuentes de ignición (Industrias con productos combustibles: papel, madera, petroquímicas)	0,4
D. Alta carga de fuego y poca cantidad de fuentes de ignición (Almacenes y depósitos)	0

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Las actividades secundarias, a_2 , se tienen en cuenta cuando aportan fuentes adicionales de incendios como: chispas, superficies calientes, fricción o productos de fácil ignición. La tabla siguiente, presenta los valores que pueden tomar:

Tabla 2.8: Valores para Actividades Secundarias, a_2

Fuentes de incendio: Actividades Secundarias	a_2
F. Soldadura (no principal)	0,1
G. Trabajo mecánico de madera o uso de plásticos	0,1
H. Pintura o revestimiento con productos inflamables	
H1. En ambiente separado y bien ventilado	0,05
H2. En ambiente separado sin ventilación	0,1
H3. Sin separación	0,2
I. Peligros especiales (áreas de fumadores no controladas, etc.)	0,1

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Los sistemas de calefacción, a_3 , cobran importancia cuando se encuentran en el ambiente en evaluación, por el tipo de combustible que se utiliza (gas, carbón, residuos, etc.). También son importantes los sistemas de aire acondicionado, porque pueden acumular polvo y grasa en los ductos, transportar humo y partículas encendidas de un lugar a otro. Los sistemas más peligrosos son los que trabajan con llama abierta o superficies calientes. Los valores que puede tomar a_3 se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 2.9: Valores para sistemas de calefacción, a_3

Fuentes de incendio por el tipo de sistemas de calefacción	a_3
Sin calefacción	0
Calefacción con agua, vapor o sólidos	0
Calefacción con aire o aceite	0,05
Generador de calor en otro ambiente	0
Generador de calor en el ambiente	0,1
Fuente de energía: electricidad, carbón, fuel-oil	0
Fuente de energía: gas	0,1
Fuente de energía: madera o residuos	0,15

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

La instalación eléctrica cobra importancia porque muchos incendios fueron iniciados por fallas eléctricas. El factor a_4 se relaciona el cumplimiento de la reglamentación y el monitoreo periódico de la instalación eléctrica en el ámbito en evaluación. La tabla siguiente muestra los valores de a_4 :

Tabla 2.10: Valores de a_4 para instalaciones eléctricas

Fuentes de incendio: Instalación eléctrica	a_4
Instalación eléctrica que cumple la reglamentación y se monitorea regularmente	0
Instalación eléctrica que cumple la reglamentación, pero no se monitorea	0,1
Instalación eléctrica que NO cumple la reglamentación	0,2

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Los productos inflamables, gases y polvos, son fuentes de incendios porque pueden encenderse con un muy poca energía, tal como una chispa o una superficie caliente; producidas por equipamiento eléctrico, fricción, etc. Las áreas donde se mantienen estos productos se identifican como peligrosas, y se pueden diferenciar 4 tipos de áreas donde:

- el uso o almacenamiento de productos inflamables es tal que en el aire se mantiene continuamente una mezcla explosiva.
- el uso o almacenamiento de productos inflamables es tal que en el aire se mantiene una mezcla explosiva en condiciones de trabajo.
- el uso o almacenamiento de productos inflamables es tal que sólo en condiciones anormales puede haber mezcla explosiva en el aire.
- el uso o almacenamiento de productos inflamables es ocasional y en cantidad limitada, siendo poco probable la mezcla explosiva en el aire.

Con esta clasificación, los valores del factor de activación a_5 son los siguientes:

Tabla 2.11: Valores a_5 Fuentes de incendio por el tipo de combustible

Fuentes de incendio por el tipo de sistemas de calefacción	a_5
Riesgo de explosión permanente	0,3
Riesgo de explosión en condiciones normales de operación	0,2
Riesgo de explosión ocasional	0,1
Riesgo de explosión de polvos	0,2
Producción de polvos combustibles sin extracción	0,1

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

No se incluye como fuente de incendios, el daño intencional de un incendiario. Para incluirla en la evaluación, debe poder controlarse con el sistema de protección de incendios. Sin embargo, este es un delito y no un problema de seguridad contra incendios.

2.7.2 . Factor de tiempo de evacuación t

Este factor estudia el tiempo requerido para evacuar el área. Se calcula con la fórmula siguiente:

$$t = \frac{p \times \left[(b + l) + \left(\frac{X}{x} \right) + 1,25 \times H^+ + 2 \times H^- \right] \times [x \times (b + l)]}{800 \times K \times [1,4 \times x \times (b + l) - 0,44 \times X]}$$

Donde: b, l, son ancho y largo del ambiente en evaluación; H⁺ y H⁻ son las alturas del ambiente en evaluación respecto del acceso al edificio.

El factor de movilidad p indica la movilidad de las personas para evacuar en condiciones de pánico, necesidad de asistencia, etc.,

Tabla 2.12: Valores del factor de movilidad p

Condición	p
1. Personas con movilidad e independientes (adultos, trabajadores)	1
2. Personas con movilidad pero necesitan asistencia (visitantes, alumnos)	2
3. Personas con movilidad limitada (pacientes, adultos mayores, convictos)	8
4. No hay un plan de evacuación claro	+2
5. Hay riesgo de ataques de pánico	+2
6 . Personas con discapacidades o limitaciones físicas o psíquicas	+2

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

El valor de x indica la cantidad de salidas de emergencia presentes en el ambiente en evaluación. Esta cantidad de salidas tiene que ver con la indicada en la ley, de acuerdo a los cálculos.

El valor de X indica la densidad de ocupación, puede calcularse dividiendo la cantidad de personas dentro del ambiente en el valor de superficie en m². También puede usarse la tabla 2.13, basada en la Código 101 de la NFPA (National Fire Protection Association).

Tabla 2.13: Valores de densidad de ocupación X según la actividad

Tipo de actividad	Densidad de Ocupación
1. Salas de espera	3
2. Lugares de alta ocupación (iglesias, salas, discotecas, etc.)	1,5
3. Lugares públicos con ocupación normal (salas de conferencia, restaurantes...)	0,6
4. Aulas de escuelas, colegios, etc.	0,5
5. Jardines de infantes	0,3
6. Laboratorios, talleres en las escuelas	0,2
7. Instituciones médicas	0,1
8. Prisiones	0,1
9. Edificios residenciales (casas, departamentos, hoteles, pensiones)	0,05
10. Comercios: planta baja y subsuelo	0,4
11. Comercios: pisos superiores	0,2
12. Oficinas	0,1
13. Fábricas	0,03
14. Almacenes	0,003

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

2.7.3 . Factor de medioambiente r

Este factor indica la forma en que el interior del edificio dificulta la evacuación. Se calcula en función de Q_i , la carga calorífica del inmueble y de M , la clase de propagación de llama; se usa la fórmula siguiente:

$$r = 0,1 \times \log(Q_i + 1) + \frac{M}{10}$$

Si el valor de r es alto, el incendio se desarrolla rápidamente.

2.7.4 . Factor de contenido c

Este factor indica el nivel de pérdida del edificio y su contenido. Define los aspectos monetario y del material, de la exposición. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$c = c_1 + c_2$$

El factor c_1 evalúa la posibilidad de reemplazo del edificio y su contenido. En el caso de sitios históricos, museos, fábricas especiales y de diseño especial, pueden resultar imposibles de reemplazar. Para evaluar esto, se debe indagar en el uso del edificio, los materiales de construcción y los tiempos de entrega. Así, el valor de c_1 será:

Tabla 2.14: Valores de c_1

Posibilidad de reemplazo	c_1
Fácil	0
Difícil (maquinaria)	0,1
Imposible (obras de arte, patrimonio histórico)	0,2

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

El factor c_2 refleja el valor monetario de los bienes, V en U\$D; y se calcula por la fórmula siguiente:

$$c_2 = \frac{1}{4} \times \log\left(\frac{V}{7,89.10^6}\right) \quad \text{Con } V > 7,89.10^6 \text{ U\$D (Agosto 2015, 1euro=1,1229 U\$D)}$$

2.7.5 . Factor de dependencia d

Este factor evalúa el impacto del incendio sobre las actividades que se desarrollan en el edificio. Un incendio en un almacén representa una gran pérdida monetaria; pero si no alcanza las áreas productivas, el negocio no se afectará tanto. El factor de dependencia expresa la relación entre el valor agregado y la facturación; cuanto mayor esta relación, la actividad será más sensible. Se obtiene de tabla según el tipo de industria.

Tabla 2.15: Valores del factor de dependencia d

Rubro	d
Industrias y servicios de alta tecnología	0,7 a 0,9
Industrias de productos de consumo (automóviles, motos, electrodomésticos)	0,45 a 0,7
Industrias en general (fabricación de máquinas, productos semi-terminados)	0,25 a 0,45
Compañías comerciales, almacenes	0,05 a 0,15
Administrativos	0,8
Media para la mayoría de empresas	0,3

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

2.8. Nivel de Protección D

El nivel de protección es el componente de probabilidad en la evaluación del riesgo de incendio. El peor escenario se presenta cuando los sistemas de protección fallan. Así, cuando mayor es el nivel de protección, menor será la probabilidad de ocurrencia del peor escenario.

El nivel de protección para el inmueble, D, se calcula como el producto de W, factor de provisión de agua; N, factor de protección normal; S, factor de protección especial y F, factor de resistencia al fuego:

$$D = W \times N \times S \times F$$

El nivel de protección para las personas, D1, se define como el producto de protección normal, N; y el factor de escape U

$$D1 = N \times U$$

El nivel de protección para las actividades, D2, se define como el producto de W, factor de provisión de agua; N, factor de protección normal; S, factor de protección especial e Y, factor de rescate:

$$D1 = W \times N \times S \times Y$$

2.8.1 . Factor de provisión de agua

Indica la calidad de las reservas de agua para extinción del fuego. Se calcula como:

$$W = 0,95^w \quad \text{con } w = \sum w_i$$

Los valores de w_i se computan como penalidades que dependerán de la calidad de la provisión de agua. Existen 5 valores de w_i .

Tabla 2.16: Valores de w_1 : Tipo de almacenamiento de agua

Tipo de almacenamiento de agua	w_1
1. Depósito de agua para uso mixto, con llenado automático	0
2. Depósito de agua para uso mixto, con llenado manual	4
3. No se dispone de depósito para agua	10

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Tabla 2.17: Valores de w_2 : Capacidad del depósito

Capacidad del depósito	w_2
1. Volumen en m^3 es igual o mayor que 0,25 m^3 ($Q_i + Q_m$)	0
2. 10 % menos	1
3. 20% menos	2
4. 30% menos	3
5. Más del 30% menos	4

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Tabla 2.18: Valores de w_3 : Red de distribución de agua

Red de distribución de agua	w_3
1. Red adecuada (diámetro, hidrantes, válvulas, mangueras, etc.)	0
2. Diámetro muy pequeño	2
3. No hay red de distribución.	6

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Tabla 2.19: Valores de w_4 : Hidrantes

Hidrantes	w_4
1. Una conexión de 65mm para 50m de perímetro	0
2. Una conexión de 50 mm para 100m	1
3. Menos de una conexión por 100m de planta.	3

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Tabla 2.20: Valores de w_5 : Presión disponible

Presión disponible	w_5
1. Presión estática H +35m	0
2. Menos presión estática	3

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

2.8.2 . Factor de protección normal N

La condición normal o estándar se considera cuando existe lo siguiente:

- Una cadena de avisos que transmite la alarma de incendio a la brigada y los usuarios del ambiente.
- Cantidad adecuada de extinguidores portátiles e hidrantes.
- Entrenamiento en el uso de los extinguidores.
- Un brigada de incendios que intervenga dentro de 10 minutos después de la alarma.

El factor se calcula con la siguiente fórmula, que incluye puntaje de penalidad:

$$N = 0,95^n \quad \text{con } n = \sum n_i$$

Tabla 2.21: Valores de n_1 : Servicio de Guardia

Servicio de Guardia	n_1
1. Servicio de guardia con presencia humana, sistema manual de alerta, notificación a la brigada de incendio y alerta interna	0
2. Sin servicio de guardia	2
3. Sin sistema manual de alerta	2
4. Sin garantía de notificación a la brigada de incendio	2
5. Sin alerta interna	2

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Tabla 2.22: Valores de n_2 : Extinción manual del fuego

Extinción manual del fuego	n_2
1. Extintores en cantidad suficiente	0
2. Extintores en cantidad insuficiente	2
3. Hidrantes equipados en cantidad adecuada	0
4. Cantidad insuficiente de hidrantes	2
5. Sin hidrantes disponibles	4

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Tabla 2.23: Valores de n_3 : Intervención de Bomberos

Intervención de Bomberos	n_3
k) Intervención en menos de 10 minutos	0
l) Entre 10 y 15 minutos	2
m) Entre 15 y 30 minutos	5
n) Más de 30 minutos	10

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Tabla 2.24: Valores de n_4 : Entrenamiento del personal

Entrenamiento del personal	n_4
o) Todos los ocupantes saben utilizar los medios de extinción	0
p) Sólo un grupo de personas están entrenadas	2
q) Sin formación	4

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

2.8.3 . Factor de protección especial S

En este factor se consideran los elementos que mejoran el sistema de protección contra incendios, y que requieren inversión extra:

- Detectores automáticos.
- Mejor provisión de agua; aumentando la cantidad y la disponibilidad con más redes.
- Sistemas automáticos de protección; como rociadores.
- Bomberos y Brigadas de incendios bien entrenadas y equipadas.

El factor de protección especial S se calcula con la siguiente fórmula:

$$S = 1,05^s \quad \text{con } s = \sum s_i$$

Los cuatro valores de s_i se muestran en las siguientes tablas, según cada caso:

Tabla 2.25: Valores de s_1 : Detección automática del fuego

Detección automática del fuego	s_1
Rociadores (sprinklers)	4
Detectores térmicos	5
Detectores de humo y llama	8
Sistemas electrónicos de supervisión	2
Identificación individual de zonas de fuego	2
Alarmas de humo	2

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Tabla 2.26: Valores de s_2 : Provisión de agua

Mejoras en la provisión de agua	S_2
Reservas de agua inagotables (4 veces la necesaria; ríos, lagos, etc.)	3
Reserva de agua exclusiva para extinción de incendios	2
Reserva controlada por el personal	2
Altamente confiable: 1 depósito con 2 fuentes de presurización.	5
Doblemente confiable: 2 depósitos con 1 fuente de presurización cada uno	12

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Tabla 2.27: Valores de s_3 : Sistemas de Rociadores

Sistemas de Rociadores	S_3
Rociadores con una conexión a la red pública de agua	11
Rociadores con una conexión a una red independiente de agua	14
Rociadores con dos conexiones a una red independiente de agua	20
Otros sistemas automáticos de extinción (CO ₂ , espumas, etc)	11

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Tabla 2.28: Valores de s_4 : Estructura de Bomberos y Brigadas

Estructura de Bomberos y Brigadas	S_4
Bomberos a tiempo completo; 24 horas, 7 días a la semana	8
Estación con personal profesional variable: de turno durante el día y según emergencia durante la noche	6
Estación con personal que responde a la emergencia, pero desarrolla otro trabajo	4
Estación de voluntarios	2
Brigada de incendios en horas de trabajo	6
Brigada de incendios a tiempo completo	14

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

2.8.4 . Factor de resistencia al fuego F

Este factor indica la capacidad del edificio para resistir los efectos de un incendio. Si el edificio colapsa, la evacuación, el rescate y el combate contra el incendio no son posibles.

El factor de resistencia se calcula con la siguiente fórmula:

$$F = \left[1 + \frac{f}{100} - \frac{f^{2,5}}{10^6} \right] \times \left[1 - \frac{(S - 1)}{40} \right]$$

con $f = \frac{1}{2} \times f_s + \frac{1}{4} \times f_f + \frac{1}{8} \times f_d + \frac{1}{8} \times f_w$

Donde:

- f_s es la resistencia media al fuego de las estructuras.
- f_f es la resistencia media al fuego de las paredes exteriores
- f_d es la resistencia media al fuego del techo
- f_w es la resistencia media al fuego de las paredes interiores

Los valores resistencia media al fuego se obtienen de tablas, según el material de construcción en el recinto que se evalúa. Puede usarse la NTP039 del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España; o bien las tablas del libro "*Protección Contra Incendios*" del Ing. Oscar N. Marucci, Editorial: UTN.

2.8.5 . Factor de escape U

Este factor considera las medidas que aceleran la evacuación, o retrasan el desarrollo del incendio las barreras que se colocan. Se calcula mediante:

$$U = 1,05^u \quad \text{con } u = \sum u_i$$

Los valores de u_i se presentan en las tablas a continuación, dependiendo de las medidas que contribuyen con el escape del incendio.

Tabla 2.29: Valores de u_1 : Detección automática

Detección automática	u_1
Detectores de humo y llama	8
Alarma de evacuación con mensaje hablado en un sistema de comunicación	6
Detectores térmicos	5
Rociadores	4
Unidades de alarma de humo	2
Sistema de vigilancia	2
Identificación individual de zonas reducidas de incendio	2
Detección parcial en áreas de alto riesgo	2
Menos de 300 personas a ser avisadas	2

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Tabla 2.30: Valores de u_2 : Medios de escape

Medios de Escape	u_2
No se usan escaleras para evacuar	0
Evacuación horizontal para el 50% del personal	2
Evacuación horizontal para el 100% del personal	8
Escaleras interiores abiertas	0
Escalera interior única cerrada	1
Más de un escalera interior cerrada	2
Más de una escalera interior cerrada y sellada contra humos	3
Al menos una escalera interior cerrada y sellada contra humos	4
Escaleras interiores y una exterior	6
Escaleras interiores y más de una exterior	8
Si hay señalización de las vías de evacuación, agregar al valor tomado:	4

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Tabla 2.31: Valores de u_3 : Separaciones

Existencia de separaciones	u_3
Área de menos de 1000m ² y paredes con resistencia al fuego RF30	2
Área de menos de 1000m ² y paredes con resistencia al fuego RF60	4

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Tabla 2.32: Valores de u_4 : Protección automática

Protección automática	u_4
Rociadores sólo en áreas con riesgo alto de incendio	5
Rociadores en todas las áreas	10
Otros sistemas automáticos de extinción	4

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Tabla 2.33: Valores de u_5 : Estructura de Bomberos y Brigadas

Estructura de Bomberos y Brigadas	u_5
Bomberos a tiempo completo; 24 horas, 7 días a la semana	8
Estación con personal profesional variable: de turno durante el día y según emergencia durante la noche. Brigada de incendios tercerizada.	6
Estación con personal que responde a la emergencia, pero desarrolla otro trabajo	4
Estación de voluntarios	2
Brigada de incendios interna	4

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

2.8.6 . Factor de salvaguardo Y

Este factor tiene en cuenta: 1) las medidas que protegen de un incendio a los elementos críticos de la actividad y, 2) las medidas que permiten reanudar las actividades en poco tiempo en la misma u otra ubicación. Se calcula como:

$$Y = 1,05^y \quad \text{con } y = \sum y_i$$

Los valores de y_i se obtienen de las tablas siguientes:

Tabla 2.34: Valores de y_1 : Protección física

Protección física de áreas críticas	y_1
Áreas de hasta 1000m ² separadas con paredes RF30	2
Áreas de hasta 1000m ² separadas con paredes RF60	4
Detección automática parcial en áreas críticas	3
Cobertura parcial con rociadores en áreas críticas	5
Otros sistemas automáticos de extinción en áreas críticas	4

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

Tabla 2.35: Valores de y_2 : Organización

Organización	y_2
Datos financieros y económicos protegidos	2
Fácil acceso a reemplazos y repuestos de partes	4
Reparación posible con mínima asistencia	2
Traslado inmediato de la actividad	3
Capacidad de producción en múltiples localizaciones	3

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

2.9 . El Riesgo Inicial R_o

Luego de calcular los Riesgos Potenciales y Niveles Aceptables de Riesgo, existen múltiples alternativas de elección de sistemas de protección: manuales, detección automática, rociadores, sistemas especiales locales, brigadas, etc.

A los fines de alcanzar una solución definitiva para la protección contra incendios, el método FRAME permite una elección preliminar basada en el Riesgo Inicial, R_o .

El Riesgo Inicial indica el nivel de protección que se obtiene con las medidas de protección actuales. Muchos elementos ya están considerados al

calcular el Riesgo Potencial (P) y el Nivel de Riesgo Aceptable (A) para el edificio. La fórmula de cálculo es la siguiente:

$$R_o = \frac{P}{A \times F_o}$$

$$\text{con } F_o = 1 + \frac{f_s}{100} - \frac{f_s^{2,5}}{10^6}$$

Donde F_o es en factor de resistencia estructural y f_s es la resistencia estructural en minutos, para columnas, vigas y paredes portantes.

En la tabla siguiente, se presenta la interpretación de acuerdo al resultado de R_o .

Tabla 2.37: Valores de R_o

Ro	Interpretación
Mayor a 4,5	Se debe reducir el riesgo con modificaciones en las estructuras, haciendo separaciones para reducir las áreas, mejorar los accesos y facilitar las vías de escape de personas y humos; es decir, llevar adelante todas las medidas que permitan reducir los valores de P y se aumentan los de A para el edificio
1,6 a 4,5	Se recomienda la instalación de rociadores; y si R_o es mayor a 2,7, puede ser necesario mejorar la fiabilidad de la provisión de agua. En muchos casos, puede no ser necesaria protección adicional para los ocupantes, pero si para las actividades.
1,0 a 1,6	Se recomienda automatizar la detección para lograr una alerta temprana y rápida respuesta de la brigada y bomberos. Se necesita provisión adecuada de agua. Puede no ser necesaria protección adicional para las personas, pero es posible que si lo sea para las actividades.
Menor a 1	Se recomienda aplicar sistemas manuales de protección: extinguidores portátiles, hidrantes, brigadas respaldadas por bomberos, considerando que la provisión de agua es adecuada. Puede ser necesaria protección adicional para las personas o actividades.

Fuente: De Smet, E. - FRAME Technical Reference Guide

A fin de reducir riesgos, es útil observar los valores de los subfactores que influyen en los factores P y A. La reducción puede lograrse trabajando en ellos, de acuerdo a los niveles de protección que se quieran lograr y el monto a invertir para el proceso.

Capítulo 3: Desarrollo del método en Excel

3.1 Fundamentos

En este capítulo se presentará una explicación del desarrollo en Excel para la Evaluación del Riesgo de Incendios con FRAME.

Dada que la cantidad de datos necesarios con este método es muy grandes, y los cálculos posteriores algo complejos por la cantidad de factores y subfactores; es innegable la utilidad de programar todo en una libro de Excel, o cualquier programa de planillas de cálculos.

Un libro Excel está formado por hojas entre las cuales se pueden organizar distintas fases o etapas de los cálculos necesarios para un proceso complejo. En el caso del desarrollo del método FRAME, se utilizaron varias hojas que cumplen las siguientes funciones:

- Introducción de datos
- Tablas propias del método FRAME
- Tablas de terceros (organismos, autores, etc.)
- Fórmulas y Cálculos
- Reporte de resultados y hallazgos

Esta organización permite:

- sistematicidad en la toma de datos y su posterior carga en la hoja de Introducción de datos;
- fácil detección de errores o seguimiento de las fórmulas;
- fácil modificación de tablas;
- posibilidad de mejora continua en cada etapa.

El funcionamiento se presenta a continuación.

3.1.1 . Relevamiento y carga de Datos

Con la idea de simplificar el relevamiento, se ideó una planilla que permite registrar los datos de manera sistemática y completa, sin dejar nada de lado. A su vez, el registro sigue el orden en que luego se volcarán los datos a la planilla de Ingreso de datos. Es aconsejable la toma de fotos en el sitio, para ilustrar los puntos relacionados en la planilla; sobre todo aquellos puntos en los que pudieran surgir dudas o no fuera fácil de relacionar con el método.

Luego del relevamiento, y antes de la carga de datos, se requiere un análisis para interpretar los datos y cargarlos de acuerdo a las condiciones relevadas en el sitio. Para facilitar la carga de los datos en Excel se programaron listas desplegables, que relacionan lo relevado con la valoración del método a cada ítem y su condición del sitio en e valuación. Esta hoja traduce los hallazgos en números, que luego se usarán para el cálculo del riesgo de incendio para el inmueble, las personas y las actividades.

The image displays three screenshots of an Excel spreadsheet used for fire risk assessment. The leftmost screenshot shows a data collection form titled "Relevamiento de Datos para FRAME" with various input fields and checkboxes. The middle screenshot shows an "Ingreso de Datos" sheet with dropdown menus for selecting values. The rightmost screenshot shows another "Ingreso de Datos" sheet with a table of fire protection measures, including columns for "Presencia" and "PUNTO".

Medida de protección	Presencia	PUNTO
Salidas de emergencia	23	60
Paradas interiores	12	60
Techo	1	30
Paradas exteriores	18	60
Detección automática	0	
Extinción automática	0	
Protección Pasiva	1	
Urgencias	4	

3.1.2 . Tablas propias del método FRAME

Las tablas propias del método se encuentran en una hoja aparte del libro. En ella se encuentran los valores que otorga el método a cada ítem evaluado. El contenido de las tablas se encuentra referenciado en las listas desplegables de la hoja de Introducción de datos.

Tabla 2.3: Valores comunes de Q _f	
Tipo de Construcción	MJ/m ²
Concreto con los techos y muros no combustibles	1500
Estructura de madera con revestimiento no combustible	300
Estructura resistente al fuego con piso de madera	200
No combustible (concreto, acero)	0
No combustible con 10% máximo de materiales combustibles en ventanas, membranas de techos, etc.	100
Códo si estructura es no combustible	100

Tabla 2.4: Valores recomendados de T	
Tipo de Materiales	T [°C]
Contenido líquido de edificios de residencia	250
Líquidos inflamables	20
Materiales aislantes del fuego	300
Materiales de construcción no combustibles	500
Materiales	400
Series humanas, plásticos y electrónicos	100
Teléfono, mobiliario, pared, aluminio	200

Tabla 2.5: Valores recomendados de U _{eff}	
Actividad desarrollada	U _{eff}
Almacenamiento de pallets	1
Industria productora de objetos pequeños	0,5
Industria productora de objetos pequeños	1,1
Industria productora de pallets y similares	0,9
Valor medio de cada	0,5

Tabla 2.6: Valores recomendados de M	
Tipo de superficie de los objetos	M
Casi incombustible	0,5
Difícil de encender o autoextinguible	1
Incombustible	0
Materiales que arden lentamente	2
Materiales que arden rápidamente	3

Tabla 2.7: Valores de Y ₁ Protección física de áreas críticas	
Protección física de áreas críticas	Y ₁
Áreas de hasta 1000m ² protegidas con paredes RF-00	2
Áreas de hasta 1000m ² protegidas con paredes RF-00	1
Copertura parcial con cortinas en áreas críticas	3
Detección automática parcial en áreas críticas	3
Otros sistemas automáticos de extinción en áreas críticas	2

Tabla 2.8: Valores de Y ₂ Organización	
Organización	Y ₂
Capacidad de producción en múltiples localizaciones (plantas secundarias y subsidiarias productivas)	3
Plantas secundarias o terciarias o productos de valor	2
Reserva de personal con mínima capacitación	4
Tiempo de respuesta de la autoridad	2

Tabla 2.9: Valores de R ₀	
Interpretación	R ₀
Se debe reducir el riesgo con modificaciones en las estructuras, haciendo modificaciones para reducir las áreas, mejorar los accesos y reducir las mas de escape de personas y suministros, para luego adoptando las medidas que permitan reducir las áreas de P ₀ y se aumenten los de A para el edificio	Mayor a 4,5
Se recomienda la instalación de muros y/o de no mayor a 2,7, para las zonas críticas mejorar la fiabilidad de la protección de agua. En incendios chicos, puede no ser necesaria protección adicional para las personas, pero sí para las actividades.	1,8 a 4,5
Se recomienda implementar la detección por gas para un corto tiempo y estabilidad respuesta de la brigada y bomberos. Se necesita prevenir adecuada de agua. Puede no ser necesaria protección adicional para las personas, pero es posible que sí lo sea para las actividades.	1,0 a 1,8
Se recomienda utilizar sistemas manuales de protección (extinguidores portátiles, hidrantes, grifos de respuesta por botón, etc.) para garantizar que la protección de agua es adecuada. Puede ser necesaria protección adicional para las personas y actividades.	Menor a 1

3.1.3 . Tablas de terceros

A los fines de adaptar y ampliar la información, se incluyeron tablas de otros autores. De esta manera, se mejora la exactitud con que trabaja el método al incluir mayor cantidad de actividades para la determinación de la Densidad de Carga de fuego y el Calor de Combustión, como también la resistencia al fuego para los materiales de construcción más usados en nuestro país (hormigón, acero, madera, etc.).

Asimismo, al organizar tablas separadas, es posible ampliar de manera simple, la base de datos con que luego se calculan de los riesgos.

Tablas Externas o de Terceros

Parametros de otros riesgos relacionados en función de su categoría de riesgo					
Categoría de riesgo	R1	R2	R3	R4	R5
de edificios que no son edificios de uso residencial	4	100	100	100	100
de edificios que no son edificios de uso residencial	10	100	100	100	100
de edificios que no son edificios de uso residencial	12	15	24	24	24
de edificios que no son edificios de uso residencial	20	20	20	20	20
de edificios que no son edificios de uso residencial	6	6	10	11	14
de edificios que no son edificios de uso residencial	16		10		

Parametros de otros riesgos relacionados en función de su categoría de riesgo					
Categoría de riesgo	R1	R2	R3	R4	R5
de edificios que no son edificios de uso residencial	7,5	7,5	4	7	4
de edificios que no son edificios de uso residencial	2	2	3	3	20
de edificios que no son edificios de uso residencial	2	2	2	2	20
de edificios que no son edificios de uso residencial	—	0,2	—	7	—
de edificios que no son edificios de uso residencial	—	—	—	4	—
de edificios que no son edificios de uso residencial	7	7,5	4	7	7
de edificios que no son edificios de uso residencial	2,3	2	2,3	2,3	2

NCRP-61020 - Prevención de incendios en edificios - Descomposición de cargas combustibles					
Categoría de riesgo	R1	R2	R3	R4	R5
de edificios que no son edificios de uso residencial	40,20	10,00			
de edificios que no son edificios de uso residencial	40,00	10,00			
de edificios que no son edificios de uso residencial	40,00	10,00			
de edificios que no son edificios de uso residencial	27,00	10,00			
de edificios que no son edificios de uso residencial	40,00	10,00			
de edificios que no son edificios de uso residencial	40,00	10,00			
de edificios que no son edificios de uso residencial	40,00	10,00			
de edificios que no son edificios de uso residencial	40,00	10,00			
de edificios que no son edificios de uso residencial	40,00	10,00			

Dimensiones de carga de riesgo medio de actividades industriales según el ILO 22672094					
Categoría de riesgo	R1	R2	R3	R4	R5
de edificios que no son edificios de uso residencial	200	40	1,5	100	40
de edificios que no son edificios de uso residencial	1000	200	1,5	10000	4000
de edificios que no son edificios de uso residencial	800	100	1,5	10000	1000
de edificios que no son edificios de uso residencial	1500	100	1,5	10000	1000
de edificios que no son edificios de uso residencial	40	10	1,5	10000	1000
de edificios que no son edificios de uso residencial	200	10	1,5	10000	1000
de edificios que no son edificios de uso residencial	700	100	1,5	10000	1000
de edificios que no son edificios de uso residencial	10	10	1,5	10000	1000
de edificios que no son edificios de uso residencial	10	10	1,5	10000	1000
de edificios que no son edificios de uso residencial	400	100	1,5	10000	1000
de edificios que no son edificios de uso residencial	800	100	1,5	10000	1000

3.1.4 . Fórmulas y Cálculos

La hoja de fórmulas y cálculos extrae los datos numéricos, que origina la hoja donde se cargaron los hallazgos del relevamiento. Luego, realiza los cálculos para obtener los valores de factores, subfactores, Nivel de Riesgo Admisble, Riesgos Potenciales y Niveles de Protección.

Cálculo de factores, subfactores y Riesgos

Dimensiones			
Longitud, m	141		
Ancho, m	52		
Altura, m	1,5		
Superficie, m ²	11137,02		
Volumen, m ³	19717,013		
Factor de carga de fuego, q_f	1,10		
Q _f , Mj/kg	0	$q = \frac{2}{3} \times \log (Q_f + Q_{0,5}) - 0,55$	
Q _f , MJ/kg	200		
Factor de extracción, I_a	1,00		
Temperatura de combustión, T	1000	$I_a = 1 - \frac{T}{1000} - (0,1 \times \log m) + \frac{M}{40}$	
Dimension media por actividad, m	1		
Clase de propagación tipo de superficie de los objetos, U	1		
Factor de acceso, a	1,00		
Distancia, m	100		
Superficie de salida de humos, superficie de piso	0,00034	$a = 0,38 + 0,1 \times \log (S) = \sqrt{k \times \sqrt{H}}$	
Distancia entre el piso y el punto donde se encuentra	14		
Factor de área, q[*]	2,87		
Ancho equivalente, b=función de I	52	$q^* = b + 5 \times \sqrt{I} \times I$	
Largo teórico del área de incendio, la mayor distancia en	141	$q^* = \frac{b}{200}$	
Nivel de acceso, a₁	1,00	$a_1 = \frac{(I+3)}{(I+2)}$	
Es el número de piso donde se desarrolla el incendio	0		
Factor de acceso, z	1,00		
Factor de ajuste, z=función de I	1,00		
Largo teórico del área de incendio, la mayor distancia en	141		
Distancia entre el subnivel con incendio y el acceso	1	$z = 1 + 0,05 \times \log \left[\frac{b}{20 \times z} + \frac{H^*}{20 \times z} \right]$	
Distancia entre el piso del incendio y el acceso del edificio	1		
Distancia de salida de emergencia	7		
Riesgo para el inmueble, R	1,100	$R = \frac{P}{A \times D}$	
Riesgo potencial, P	2,874	$P = q \times I \times q \times K \times U \times z$	
Nivel de Riesgo Aceptable, A	1,000	$A = 1,6 - a - z - c$	
Nivel de Protección, D	1,440	$D = W \times N \times S \times P$	
Riesgo para las personas, R1	9,011	$R1 = \frac{P1}{A1 \times D1}$	
Nivel de Protección, P1	1,733	$P1 = q \times I \times q \times U \times z$	
Nivel de Riesgo Aceptable, A1	1,207	$A1 = 1,6 - a - z - y$	
Nivel de Protección, D1	3,220	$D1 = N \times I$	
Riesgo para la actividad, R2	1,694		

3.1.5 . Reporte de Resultados

Luego del procesamiento de los datos, la información se presenta en una hoja de Reportes, para visualizar en pantalla e imprimir los resultados con su respectiva interpretación. Para facilitar la lectura, se presenta primero un Resumen, con los valores de Riesgo para el inmueble, las personas y las actividades que se desarrollan en la instalación; además de las conclusiones con la interpretación de los valores obtenidos.

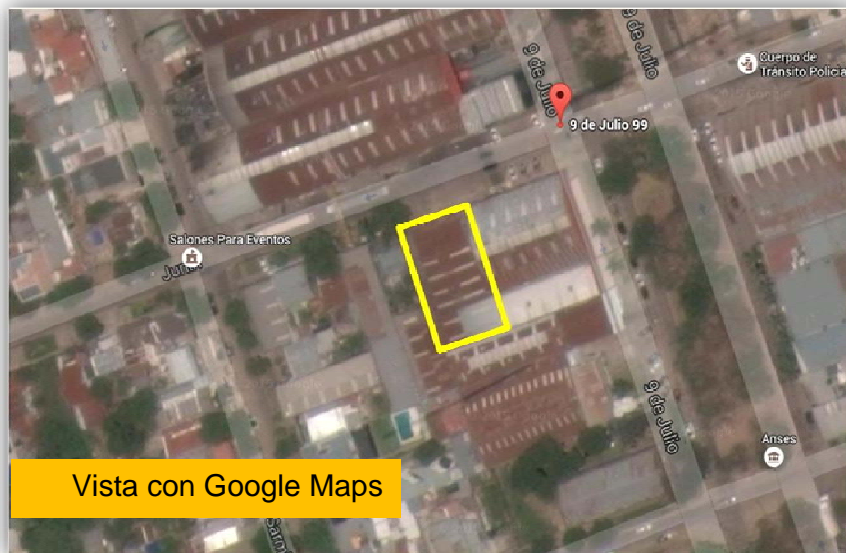
Reporte de evaluación FRAME			
Empresa: _____			
Sector: _____			
Dirección: _____			
Provincia: _____			

Resumen de Resultados			
Riesgo para el Inmueble, R			
Riesgo para el Inmueble, R	Riesgo Potencial, P	Nivel de Riesgo Admisible, A	Nivel de Protección, D
Comentarios:			
Riesgo para las personas, R1			
Riesgo para las personas, R1	Riesgo Potencial, P1	Nivel de Riesgo Admisible, A1	Nivel de Protección, D1
Comentarios:			
Riesgo para las actividades, R2			
Riesgo para las actividades, R2	Riesgo Potencial, P2	Nivel de Riesgo Admisible, A2	Nivel de Protección, D2
Comentarios:			

3.2 Ejemplo de aplicación del Método FRAME

El método se aplicó en un sector de almacenamiento de una empresa de bebidas no alcohólicas; donde no existía evaluación alguna del riesgo de incendio con métodos específicos. Si se encontró la evaluación según el requerimiento legal para su funcionamiento.

El sector evaluado corresponde específicamente a un depósito donde se almacena azúcar, tapas de gaseosas, algunas preformas, etiquetas, una cámara de frío con esencias. Además, se cuenta con un sector delimitado para la carga de baterías para auto elevadores y zorras.



Vista con Google Maps



Frente del Depósito

La estructura del depósito es de hormigón; las paredes de ladrillos macizos de 15cm., no portantes. El techo es curvo con chapas de zinc sinusoidales, apoyadas en vigas reticulares planas. Tiene 3 extractores eólicos distribuidos longitudinalmente. La altura máxima del techo en el centro es de 6,5m. La longitud del depósito es de 50m y el ancho de 12m.

Entre los materiales almacenados en el depósito se encontró: 1) PET (polietileno de tereftalato), 2) Polietileno, 3) Polipropileno, 4) Madera y 5) Cartón. La forma de almacenamiento es en tarimas o pallets de 1m x 1,2m de lado, y una altura máxima de 2,15m. Algunos materiales en racks y otros a nivel del suelo.

A continuación, se muestran fotos del local.





Etiquetas en racks



Etiquetas y tapas



Film para palletizar

Junto al depósito se encuentra el sector de carga de baterías y una cámara de frío para almacenar esencias. El monto aproximado de todo el material almacenado en el depósito es de \$3,6 millones; y la valuación del edificio es de \$6 millones. La interrupción de operaciones del depósito por un siniestro es de unos 4 meses hasta la reconstrucción; por lo que habrá que alquilar locales para ubicar el producto.



A continuación, se muestran los datos cargados en el Libro Excel y luego el reporte con los resultados de Riesgos.

Ingreso de Datos

Ingresar	
Largo del ambiente en metros, m:	25
Ancho del ambiente en metros, m:	12
Mayor altura piso-techo del ambiente en metros, m:	6,5
Cantidad de personas por turno	3

Densidad de Carga de Fuego del Contenido, Qm			
Seleccionar material de la lista e ingresar cantidad		kg	C (MJ/kg)
	Azúcar de caña	15400	16,8
Film termocontráctil	Poliéster	37400	46,5
Etiquetas	Poliéster	25760	46,5
Tapas	Madera de pino seco	7280	16,8
Tarimas	Polipropileno	5400	46
			0
			0
			0
			0
			0
		Qm (MJ/m ²)	1007,71

Densidad de Carga de Fuego del Inmueble, Qi	
Seleccionar tipo de material de construcción	
	Ci (MJ/m ²)
No combustible (cemento, acero)	0

Reporte de evaluación FRAME

Empresa: Salta Refrescos S.A. - Planta Formosa

Sector: Depósito de Insumos

Dirección: 9 de Julio esquina Junín - Formosa

Provincia: Formosa

Resumen de Resultados

Riesgo para el Inmueble, R

Riesgo para el Inmueble, R	Riesgo Potencial, P	Nivel de Riesgo Admisible, A	Nivel de Protección, D
0,724	0,881	1,246	0,976

Comentarios: El valor de Riesgo para el Inmueble es menor que 1. Esto indica que el inmueble tiene un bajo riesgo de incendio. El inmueble tiene un nivel de protección adecuada.

Riesgo para las personas, R1

Riesgo para las personas, R1	Riesgo Potencial, P1	Nivel de Riesgo Admisible, A1	Nivel de Protección, D1
1,048	1,987	0,967	1,960

Comentarios: El valor mayor que 1 indica que se deben hacer mejoras para reducir el Riesgo para las Personas. El valor del Riesgo Potencial sugiere que se debe trabajar en los factores que influyen en él.

Riesgo para las actividades, R2

Riesgo para las actividades, R2	Riesgo Potencial, P2	Nivel de Riesgo Admisible, A2	Nivel de Protección, D2
0,797	0,606	1,167	0,652

Comentarios: El valor de Riesgo para la actividad también es menor que 1, indicando que la actividad tiene una protección adecuada.

Reporte de evaluación FRAME

Resultados

Item

Tipo de ocupación:			
Carga de fuego del inmueble:		Qi= 0	
Carga de fuego de bienes:		Qm= 1007,7067	q= 1,45
Aumento de Temperatura:		T= 100	
Dimensión media:		m= 1	
Reacción al fuego:		M= 3	i= 1,20
Largo:		l= 25	
Ancho:		b= 12	g= 0,44
Niveles:		E= 0	e= 1,00
Altura:		h= 6,5	
Ventilación:		k= 0,0000	v= 1,14
Dirección de acceso		Z= 2	
Diferencia de Altura		H= 0	z= 1
Riesgos Potenciales:	P= 0,881	P1= 1,99	P2= 0,61
Factores de Activación:	Primario	a1= 0,00	a= 0,30
	Secundario.	a2= 0,10	
	Calefacción	a3= 0,00	
	Eléctrico	a4= 0,10	
	Explosión:	a5= 0,10	
Ocupantes	3	Factor de Movilidad= 1,00	
Salidas:	1	X= 2	
Direcciones de salida		k= 1	
Factor de Tiempo de evacuación:			t= 0,03
Factor de Contenido:			c= 0,02
Factor de Medioambiente:		r= 0,30	
Factor de Dependencia:		d= 0,10	
Nivel Riesgo Admisible:	A= 1,25	A1= 0,97	A2= 1,17
Provisión de Agua:			W= 0,81
Protección Normal:			N= 0,81
Protección Especial:			S= 0,70
Resistencia al fuego		Estructura: 180	
		Paredes exteriores: 90	
		Techo: 30	
		Paredes interiores: 90	
Protección para escape:			U= 2,41
Salvaguarda:			Y= 1,41
Cálculo de Riesgos:	R= 0,72	R1= 1,05	R2= 0,80

Reporte de evaluación FRAME

Conclusión

Nivel de Protección contra incendios para el inmueble: ADECUADO

Nivel de Protección contra incendios para las personas: INSUFICIENTE LEVE
Si bien el valor es levemente mayor que 1, se deberían tomar acciones para reducir el valor del Riesgo Potencial trabajando en los factores: carga de fuego q, el factor de extensión i, el factor de nivel e, el factor de ventilación v y el factor de acceso z.

Nivel de Protección contra incendios para la actividad: ADECUADO

Propuestas de Mejoras (enfocadas en mejorar los valores de los factores)

- 1 - Si no puede reducirse la carga de fuego del contenido, es posible mejorar el orden para facilitar el acceso a la extinción del fuego.
- 2 - Para reducir el factor de extensión, hay que trabajar en M (estudiar alternativas de materiales que envuelven a las tarimas, etc.) o en m (dividir la longitud de almacenamiento para reducir el área de incendio).
- 3 - En el caso del factor de nivel, e, no puede mejorarse en este caso porque ya tienen el menor valor, 1.
- 4 - El factor de ventilación, se puede reducir mediante: el aumento de la superficie de salida de humos (colocando más extractores edílicos) o aumentando la altura del techo (aunque esto es costoso, se podría tener en cuenta para un futuro inmueble). Al aumentar la salida de humos al ambiente, o aumentar la acumulación de humo más arriba en el incendio, las personas pueden evacuar de manera más segura.
- 5 - En el caso del factor de acceso, z, no puede mejorarse en este caso porque ya tienen el menor valor, 1.

Evaluado por: Ezequiel Plaza

Firma:



Fecha: 14 de Agosto 2015

Capítulo 4

Conclusiones

Al aplicar el Método FRAME se verifica su gran utilidad y versatilidad para detectar lo que está bien y, sobre todo, dónde debe mejorarse para alcanzar la mayor protección contra incendios posible, para las personas, el inmueble y las actividades que se desarrollan en él. Si bien este método es el más complejo en cuanto a cálculos, es evidente la gran utilidad del desarrollo en un Libro Excel, tanto para los la computación, como para facilitar el análisis. Esto permite afirmar que los objetivos se cumplieron.

Para el caso analizado, los valores no arrojaron grandes riesgos, pero un análisis más detallado de los factores, permite reducir aún más el Riesgo en cada enfoque (inmueble y su contenido, personas y actividades). Sin embargo, su implementación dependerá de la priorización y equilibrio de inversiones de la empresa.

Por otro lado, se pueden resaltar algunos puntos a tener en cuenta:

- Es importante el relevamiento sistemático, con fotos que refuercen lo escrito.
- Al momento de cargar la información en el libro Excel, es posible que no se encuentre en las listas lo relevado como tal. Se deberá interpretar con cuidado qué es lo que más se adapta a la realidad; o bien revisar la información disponible en bases de datos; y mejorar las que vienen en el Libro Excel.
- La gran utilidad del método se observa al analizar los resultados, ya que se pueden simular los valores de los valores de los factores para reducir los riesgos y/o aumentar el nivel de protección.

Este método puede a ayudar a proteger vidas y bienes. Los beneficios de aplicarlos son muchos, por eso su difusión es crítica, como también la mejora continua que surge de la experiencia actual y la que se vaya desarrollando.

Fuentes Consultadas

- *FRAME 2008, Theoretical basis and technical reference guide* - Erick De Smet, 2008.
- *www.framemethod.net* - Web oficial con información sobre el método y su implementación en el mundo.
- *www.redproteger.com.ar* - Web del Ing. Néstor Botta. Tablas de resistencia al calor de materiales de construcción.
- *www.extintoresmelisam.com.ar* - Web de la empresa Melisam, fabricante de extintores manuales.
- *NORMA CHILENA OFICIAL - NCh1916.Of1999, Prevención de incendios en edificios - Determinación de cargas combustibles*. Tablas de calor de combustión. 1999.
- *ANEXO. TABLAS. Búsqueda y validación de parámetros de la carga de fuego en establecimientos industriales*. Densidad de carga de fuego media de actividades industriales según el R.D. 2267/2004.
- *ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO - OIT, Capítulo 41. Incendios*. Casey C. Grant, Director del capítulo. 2010
- *ANEXO VII Capítulo 18 Dec. 351/79 - Protección contra incendios*.
- *Desarrollo de un incendio: Flashover y Backdraft*. Apunte del Servicio de Formación de Bomberos de la Comunidad de Madrid, España. 2004.