



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**CRITERIOS DE DISEÑO DE LA ZONA VERTICAL DE SEGURIDAD CONTRA INCENDIO  
PARA EDIFICIOS EN ALTURA**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

**NATHALIE ALEJANDRA ASTORGA IZQUIERDO**

PROFESOR GUÍA:  
GABRIEL RODRÍGUEZ JAQUE.

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
MIGUEL BUSTAMANTE SEPÚLVEDA.  
PEDRO ACEVEDO MOYANO.

SANTIAGO DE CHILE.  
JUNIO 2009.

RESUMEN DE LA MEMORIA  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERA CIVIL.  
POR: NATHALIE ASTORGA IZQUIERDO.  
FECHA: Viernes 26 de Junio, 2009  
PROF. GUÍA: Sr. GABRIEL RODRÍGUEZ J.

## **“CRITERIOS DE DISEÑO DE ZONAS VERTICALES DE SEGURIDAD CONTRA INCENDIO PARA EDIFICIOS EN ALTURA”**

El siguiente trabajo constituye un estudio acerca de los criterios de diseño de la principal vía de evacuación utilizada en edificios de altura en caso de emergencias. Esta vía es llamada técnicamente “zona vertical de seguridad”, es exigida en nuestro país para todo edificio de 7 o más pisos, con el fin de permitir a los usuarios evacuar masiva y rápidamente el inmueble protegiéndolos de los efectos del fuego, humo y gases.

Para desarrollar este estudio se revisó la reglamentación vigente, y se realizó una serie de proposiciones para su complementación a partir de una investigación, basada principalmente en las normas de Estados Unidos e Inglaterra, ya que ambos países poseen mayor desarrollo en el análisis de temas relacionados con la construcción contra incendio.

Dentro de los temas relevantes, que no han recibido la debida profundidad en la actual normativa chilena, pero que si han sido estudiados seriamente en el exterior, se encuentran: el movimiento del humo en los edificios altos, sus características y técnicas para ser controlado, la ubicación de las vías de evacuación y sus características.

Para completar esta investigación se realizó una visita al edificio Apoquindo 4001, ubicado en la ciudad de Santiago, lo que permitió obtener la situación actual de las zonas verticales presurizadas construidas en uno de los edificios más altos de nuestro país.

Finalmente con esta investigación se obtuvo una herramienta básica para poder analizar cada edificio en particular, a partir de criterios claramente definidos, dependiendo del número de pisos y su carga ocupacional.

## **Dedicatorias**

La presente tesis está dedicada especialmente a mis queridos padres, Ernesto y María, gracias a ustedes he podido lograr todo lo que alcanzado en mi vida, pues ese total apoyo que me han brindado ha sido fundamental en los desafíos que me he impuesto durante estos años, ustedes han sido los pilares que han sustentado todo. Sería imposible agradecer todo lo que han hecho por mí, pero espero que este éxito sea tanto de ustedes como mío.

A mí querido hermano Christian, espero haber sido un buen ejemplo para ti y por sobre todo un gran apoyo en tu proceso de aprendizaje, sin lugar a dudas siempre he confiado en tus capacidades.

A todas las personas que me acompañaron en este hermoso proceso universitario, que estoy segura nunca las olvidaré.

En especial a Andrés, la persona con la cual he compartido mis sueños y con la que quiero empezar a convertirlos en realidad.

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer profundamente a mi profesor guía, Sr. Gabriel Rodríguez por los consejos para enfrentar esta investigación y el valioso tiempo que me dedico.

Asimismo, al Sr. Alejandro Ramírez por la oportuna y valiosa ayuda prestada durante el transcurso de esta investigación.

# INDICE DE MATERIAS

<b>CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN</b>	<b>12</b>
1.1. MOTIVACIÓN	13
1.2. OBJETIVOS	14
1.3. METODOLOGÍA	15
<b>CAPÍTULO 2 : MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>16</b>
2.1. GENERALIDADES DEL DISEÑO CONTRA INCENDIO	17
2.2. CONCEPTOS Y NOCIONES BASICAS DEL TEMA	18
2.2.1. Antecedentes importantes de un incendio	20
2.3. CARACTERÍSTICAS DEL HUMO Y SUS EFECTOS	24
2.3.1. Cantidad de humo generado por un material combustible	26
2.3.2. Efectos y toxicidad de los productos de la combustión	28
<b>CAPÍTULO 3 : EXIGENCIAS Y COMENTARIOS DE LA REGLAMENTACIÓN CHILENA</b>	<b>32</b>
3.1. ESPECIFICACIONES DE LA ORDENANZA GENERAL DE URBANISMO Y CONSTRUCCIONES	33
3.2. COMENTARIOS SOBRE LA OGUC	38
<b>CAPÍTULO 4 : PROPAGACIÓN Y CONTROL DEL HUMO</b>	<b>40</b>
4.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL MOVIMIENTO DEL HUMO	41
4.1.1. Expansión y flotabilidad de los gases al calentarse	44
4.1.2. Efecto chimenea	45
4.1.3. Efectos del viento	49
4.1.4. Efectos Producidos por el Movimiento de Aire Forzado	53

<b>4.2.</b>	<b>MÉTODOS PARA CONTROLAR EL MOVIMIENTO DEL HUMO</b>	<b>54</b>
4.2.1.	Compartimentación	54
4.2.2.	Dilución	57
4.2.3.	Presurización	59
 <b>CAPÍTULO 5 : CRITERIOS DE DISEÑO</b>		<b>68</b>
<b>5.1.</b>	<b>PLANIFICACIÓN</b>	<b>69</b>
<b>5.2.</b>	<b>APLICACIÓN DE PRESURIZACIÓN A CAJA DE ESCALERAS</b>	<b>71</b>
5.2.1.	Criterios de diseño según NFPA 92A (Estados Unidos)	73
5.2.2.	Criterios de diseño según BS EN 12101-6 (Inglaterra)	75
5.2.3.	Tipos de inyección	80
5.2.4.	Ventoeo, templador o alivio de presión	83
<b>5.3.</b>	<b>ANCHO DE ESCALERAS</b>	<b>84</b>
5.3.1.	Método del caudal	84
5.3.2.	Método de la capacidad	85
5.3.3.	Sistema lineal	86
<b>5.4.</b>	<b>COMPARTIMENTACIÓN</b>	<b>87</b>
<b>5.5.</b>	<b>PRESENTACIÓN VISITA A: “EDIFICIO APOQUINDO 4001”</b>	<b>89</b>
5.5.1.	Registro fotográfico	90
5.5.2.	Comentarios visita	93
<b>5.6.</b>	<b>CONSEJOS DE DISEÑO</b>	<b>94</b>
 <b>CAPÍTULO 6 : CONCLUSIONES</b>		<b>98</b>
<b>6.1.</b>	<b>DISCUSIONES</b>	<b>99</b>
<b>6.2.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>102</b>
<b>6.3.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>103</b>

<b>CAPÍTULO 7 : BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>104</b>
7.1. LISTADO BIBLIOGRÁFICO	105
<b>CAPÍTULO 8 : INDICE ALFABÉTICO</b>	<b>107</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>100</b>

# INDICE DE ILUSTRACIONES

FIG. 2-1: ETAPAS DE EVOLUCIÓN DEL FUEGO EN UN INCENDIO, DESDE SU ORIGEN HASTA SU EXTINCIÓN NATURAL	20
FIG. 2-2: CURVA NORMALIZADA TIEMPO - TEMPERATURA DE UN INCENDIO <sup>5</sup>	23
FIG. 2-3: ESTIMACIÓN DE SUPERFICIE QUEMADA, REGLA DE LOS 9	29
FIG. 3-1: GRAFICO DE TABLA 3-III, LINEA ROJA REPRESENTA TENDENCIA.	39
FIG. 4-1: MOVIMIENTO VERTICAL Y HORIZONTAL DEL HUMO	41
FIG. 4-2: DIFERENCIA DE PRESIÓN Y UBICACIÓN DE PLANO NEUTRAL	43
FIG. 4-3: DESCRIPCIÓN DE MOVIMIENTO DEL HUMO PRODUCTO DEL EFECTO CHIMENEA	46
FIG. 4-4: DIFERENCIA DE PRESIÓN QUE GENERA EL EFECTO CHIMENEA	47
FIG. 4-5: EFECTO DEL VIENTO EN ELEVACIÓN	50
FIG. 4-6: EFECTO DEL VIENTO EN PLANTA	50
FIG. 4-7: ACCIÓN DEL EFECTO CHIMENEA CON NIVEL DE PRESIÓN NEUTRA EN LA MITAD DEL EDIFICIO	51
FIG. 4-8: ACCIÓN DEL VIENTO CON IGUAL MAGNITUD DE PRESIÓN EN BARLOVENTO Y SOTAVENTO	52
FIG. 4-9: ACCIÓN DEL VIENTO Y CHIMENEA COMBINADOS	52
FIG. 4-10: MUROS Y PISO UNIDOS CONFORMAN LA ZONA PROTEGIDA	54
FIG. 4-11: DIAGRAMA DE FUERZAS	61
FIG. 5-1: SISTEMA DE INYECCIÓN SUPERIOR SIMPLE	81
FIG. 5-2: SISTEMA DE INYECCIÓN SUPERIOR MÚLTIPLE	81
FIG. 5-3: SISTEMA DE INYECCIÓN INFERIOR MÚLTIPLE	82
FIG. 5-4: APROXIMACIÓN DE PENDIENTES ENTRE LINEA TENDENCIA DE LA REGLAMENTACIÓN CHILENA Y LA LINEALIZACIÓN QUE RECOMIENDA LA NFPA 101.	87
FIG. 5-5: PLANTA TIPO CAJA ESCALERA INTERIOR, PROTECCIÓN RESISTENTE AL FUEGO	88
FIG. 5-6: CAJA ESCALERA CON UN MURO EXTERIOR Y PROLONGACIÓN DE UN MURO INTERIOR	88
FIG. 5-7: CAJA ESCALERA CON UN MURO INTERIOR	88
FIG. 5-8: CAJA ESCALERA CON UN MURO EXTERIOR	88
FIG. 5-9: EDIFICIO APOQUINDO 4001	89
FIG. 5-10: SALA DE CONTROL	90
FIG. 5-11: CONTROL AUTOMÁTICO PRESURIZACIÓN	90
FIG. 5-12: CONTROL MANUAL PRESURIZACIÓN	91
FIG. 5-13: TOMA DE AIRE	91
FIG. 5-14: DUCTO DE AIRE	92
FIG. 5-15: VENTILADORES DE PRESURIZACIÓN	92

FIG. 5-16: INYECCIÓN DE AIRE	93
FIG.5-17: ZONAS VERTICALES VENTILADAS E INTERIORES	94
FIG. 5-18: VIAS DE EVACUACIÓN ALTERNATIVAS	95
FIG. 5-19: UBICACIÓN DE VENTILADOR POCO SEGURA	96
FIG. 5-20: PUERTA DE EVACUACION TIPO, CON CIERRE AUTOMÁTICO Y BARRA ANTIPÁNICO	96
FIG. 5-21: EFECTO DEL VIENTO SOBRE TEMPLADOR	97
FIG. 5-22: MAL ESTADO DE ALETAS	97
FIG. 6-1: SISTEMA DE PRESURIZACIÓN COMPLETO	101

## INDICE DE TABLAS

TABLA 2-I: FUENTES DE IGNICIÓN	22
TABLA 2-II: GASES COMÚNMENTE EMITIDOS EN INCENDIOS	30
TABLA 3-I: RESISTENCIA AL FUEGO REQUERIDA PARA LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE LOS MUROS DE LA ZONA VERTICAL DE SEGURIDAD	34
TABLA 3-II: CANTIDAD DE VÍAS DE EVACUACIÓN Y SU ANCHO MÍNIMO	37
TABLA 4-I: PÉRDIDAS POR ENVOLVENTE	66
TABLA 4-II: OTRAS PÉRDIDAS POR ENVOLVENTE	66
TABLA 4-III: PÉRDIDAS ALREDEDOR DE LAS PUERTAS CERRADAS	67
TABLA 5-I: CLASES DE SISTEMAS	75

# INDICE DE ECUACIONES

( EC. 1).....	44
( EC. 2).....	46
( EC. 3).....	48
( EC. 4).....	49
( EC. 5).....	55
( EC. 6).....	55
( EC. 7).....	58
( EC. 8).....	60
( EC. 9).....	61
( EC. 10).....	64
( EC. 11).....	65
( EC. 12).....	65
( EC. 13).....	73
( EC. 14).....	73
( EC. 15).....	74
( EC. 16).....	74
( EC. 17).....	77
( EC. 18).....	78
( EC. 19).....	79
( EC. 20).....	83
( EC. 21).....	83
( EC. 22).....	84

## CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. MOTIVACIÓN

---

El diseño de un edificio hoy en Chile, es estudiado detenidamente desde distintas perspectivas, analizando detalles tales como: estéticos, económicos, constructivos, estructurales, etc. No obstante, muchas veces son olvidados aspectos tan importantes como el asegurar que una edificación esté preparada para responder de modo aceptable a sucesos inesperados como son los incendios, de manera tal de ser capaz de asegurar la integridad y la perfecta evacuación de sus usuarios desde el interior.

Debido a esto, ha nacido la motivación de estudiar y analizar el diseño de la principal vía de evacuación de un edificio en altura, llamada “Zona Vertical de Seguridad”. Esta zona permite a los usuarios el desplazamiento vertical desde cualquier nivel del edificio, protegidos en casos de incendios de los efectos: fuego, humo y gases, esta vía de evacuación es exigida en nuestro país por la “Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones” (O.G.U.C.), para edificios de 7 o más pisos.

La O.G.U.C, es la única reglamentación chilena que introduce la exigencia sobre el diseño adecuado en edificios para enfrentar un incendio. Sin embargo, la O.G.U.C. no proporciona la información para garantizar la seguridad de vida de los ocupantes de los edificios de altura.

Por el contrario en Estados Unidos y en Europa existe un nivel superior de conocimiento respecto al tema, pues han desarrollado variadas investigaciones, tanto científicas como técnicas, que han servido como experiencia para crear variados códigos que regulan los diseños y disposiciones arquitectónicas y constructivas que permiten reducir el riesgo sobre los ocupantes de edificios de altura frente a incendios.

Es debido a esto que se estima necesario entregar propuestas de mejoramiento en este tema, fundadas en la experiencia de países más desarrollados. Pues de esta forma podremos acceder a soluciones que finalmente aporten como requerimientos a nuestra Ordenanza entregando mayor seguridad a nuestras construcciones.

## 1.2. OBJETIVOS

---

### **Objetivo General:**

- ✓ Analizar los problemas actuales en el diseño de las vías de evacuación y generar soluciones o proposiciones para remediar las falencias encontradas, salvaguardando de esta manera la integridad de los usuarios ante un eventual incendio.

### **Objetivos específicos:**

- ✓ Analizar la reglamentación chilena, respecto a la construcción de zonas verticales en edificios de altura.
- ✓ Analizar la propagación del humo en el interior de los edificios.
- ✓ Estudiar diversos métodos para poder controlar el movimiento del humo.
- ✓ Presentar los criterios de diseño utilizados para la construcción adecuada de las zonas verticales de seguridad presurizadas.

### 1.3. METODOLOGÍA

---

La metodología utilizada en esta investigación se concentra principalmente en:

- Obtener información de los requisitos exigidos por la “Ordenanza General de la Ley General de urbanismo y Construcciones”, para la construcción de las vías de evacuación, especialmente de las condiciones de seguridad contra incendio.
- Obtener información acerca de las experiencias en países más avanzados en este tema, como E.E.U.U., especialmente la norma NFPA 92A (National Fire Protection Association) e Inglaterra, especialmente la norma BS EN12101
- Recopilar antecedentes sobre los sistemas de evacuación utilizados comúnmente en edificios de la ciudad de Santiago y los criterios de diseño utilizados.
- A partir de la información obtenida se determinan los problemas que comúnmente se presentan en la construcción de las zonas verticales y se indican diversas recomendaciones para evitar caer en nuevos errores.

## CAPÍTULO 2 : MARCO CONCEPTUAL

---

## 2.1. GENERALIDADES DEL DISEÑO CONTRA INCENDIO

---

El diseño contra incendio de cualquier edificio consiste básicamente en otorgarle las características apropiadas para responder a los siguientes requisitos<sup>1</sup>:

- Proporcionar condiciones que eviten la generación de un incendio
- Disponer de las medidas de seguridad adecuadas para que en caso de ocurrencia de un incendio, permitan una evacuación rápida y segura de los usuarios.
- Reducir al máximo las pérdidas materiales, tanto en el lugar de ocurrencia como en su entorno.

La elección adecuada de los materiales utilizados en el interior del edificio, ya sea en las terminaciones, decoraciones, como también el mobiliario utilizado, son fundamentales para evitar grandes emanaciones de humo frente a un incendio, debido a que muchas veces sin considerar esta recomendación se introducen en el interior de los edificios elementos confeccionados con materiales de alta combustibilidad y que generan gran cantidad de humo, así también es importante controlar instalaciones eléctricas, etc.

La implementación de la protección pasiva en los edificios, puede retardar la acción del fuego permitiendo la evacuación de los ocupantes antes del eventual colapso, dando tiempo además para el ingreso de bomberos con el fin de detener el incendio, reduciendo las pérdidas materiales y evitando una expansión mayor de este.

La incorporación de los elementos de protección activa, diseñados especialmente para detectar el inicio del incendio y actuar a través de agentes extintores de fuego, tales como agua, gases, espumas o polvos químicos, también contribuyen de manera importante a la reducción de las pérdidas materiales.

El desarrollar diseños de vías de evacuación más seguras y eficientes, permite salvar la vida de muchas personas que eventualmente son víctimas de este tipo de tragedias, por lo tanto, la construcción de una zona vertical adecuada otorga mayor seguridad y fluidez al momento de evacuar el edificio.

## 2.2. CONCEPTOS Y NOCIONES BASICAS DEL TEMA

---

Hoy en nuestro país ocurren cerca de 3.500 incendios anuales, lo que significa que existe un promedio de 10 incendios diarios, además al año mueren aproximadamente 100 personas producto de un incendio, por lo tanto, es necesario estar preparados para enfrentar este tipo de catástrofe<sup>2</sup>.

Por otro lado, según la publicación realizada por la periodista Natalia Torres, el Martes 3 de Marzo del presente año, en el diario “El Mercurio”, al analizar sólo Santiago e Iquique, se han concentrado en los tres primeros meses del año, cerca de 24 incendios de gran magnitud, tomando en cuenta aquellos ocurridos en fabricas, edificios y locales comerciales solamente.

Para conocer más acerca de los incendios, es importante conocer algunos conceptos básicos, que nos ayudarán a entender más acerca del tema.

- **Incendio:**

Un incendio es una ocurrencia de fuego no controlada que puede ser extremadamente peligrosa para los seres vivos. La exposición a un incendio puede producir la muerte, generalmente por inhalación de humo o por desvanecimiento, quedando expuesto a sufrir quemaduras graves<sup>2</sup>.

- **Fuego:**

Se llama fuego a la reacción química de oxidación violenta de una materia combustible, con desprendimiento de llamas, calor y gases. Es un proceso exotérmico. Desde este punto de vista, el fuego es la manifestación visual de la combustión<sup>2</sup>.

- **Combustión:**

La combustión es una reacción química en la que un elemento combustible se combina con otro comburente (generalmente oxígeno presente en el aire) desprendiendo calor y produciendo óxidos<sup>2</sup>.

- **Pirólisis:**

La pirólisis es la descomposición química de un material combustible, causada por el calor.

Para que ocurra un incendio es necesario por lo tanto que se pirolisen los materiales presentes dando paso a la reacción química de los distintos elementos<sup>2</sup>.

- **Temperatura de Ignición:**

Para iniciar la combustión de cualquier combustible, es necesario alcanzar una temperatura mínima, llamada ignición o de inflamación <sup>2</sup>.

- **Humo:**

El humo es una suspensión en el aire de pequeñas partículas sólidas y de gotas de líquidos, llamadas aerosoles, junto con gases y aire caliente, que resultan de la combustión generalmente incompleta de un combustible<sup>2</sup>.

---

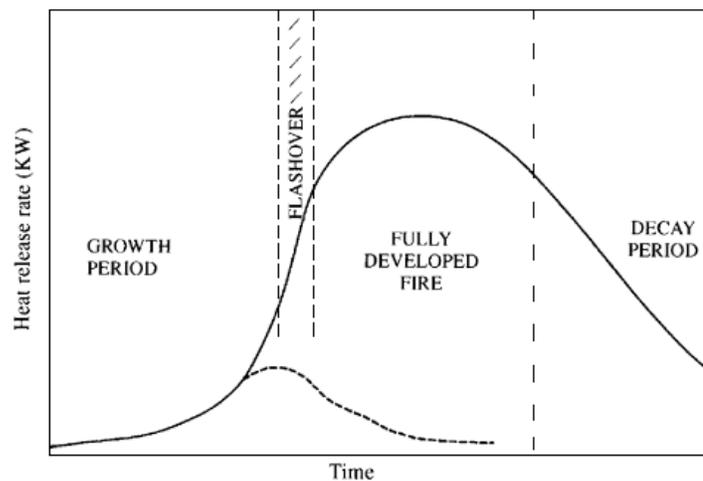
2.2.1. *Antecedentes importantes de un incendio*

---

1. Etapas de evolución de un incendio

No todos los incendios se desarrollan de la misma forma, aunque todos pueden pasar por tres etapas de desarrollo, si no se interrumpe a tiempo.

La identificación de dichas etapas versus el periodo de tiempo transcurrido, se puede observar en el siguiente gráfico <sup>3</sup>:



**FIG. 2-1: ETAPAS DE EVOLUCIÓN DEL FUEGO EN UN INCENDIO, DESDE SU ORIGEN HASTA SU EXTINCIÓN NATURAL**

Etapas que pueden ser clasificadas como:

- ❖ **Etapas incipiente:** Se caracteriza porque no hay llamas, hay poco humo, la temperatura es baja; se genera gran cantidad de gases, generalmente invisibles.
- ❖ **Etapas de incendio totalmente desarrollado:** Se alcanza el punto de ignición y comienzan las llamas. Baja la cantidad de humo y aumenta el calor. Su duración puede variar, pero generalmente se manifiesta a través de un “FLASHOVER” (combustión súbita generalizada), generando gran cantidad de calor, llamas, humo y gases tóxicos, liberando de esta forma la máxima energía térmica posible.
- ❖ **Etapas de decaimiento:** Se produce cuando el incendio consume toda la carga combustible posible de quemar, disminuyendo gradualmente la temperatura ambiente.

## 2. Fuentes de ignición

Las fuentes de ignición de un incendio se clasifican de acuerdo a las causas que generan la temperatura de ignición, estas pueden ser:.

**TABLA 2-I: FUENTES DE IGNICIÓN**

<b>FUENTE DE IGNICIÓN</b>	<b>CAUSAS</b>
ELÉCTRICA	EFEECTO JOULE INDUCCIÓN ELÉCTRICA DIELÉCTRICO ARCO ELÉCTRICO DESCARGA ELECTROESTÁTICA RAYOS
MECÁNICA	ROCE CHISPAS COMPRESIÓN DE UN GAS
QUÍMICA	DESCOMPOSICIÓN DISOLUCIÓN IGNICIÓN ESPONTÁNEA CALOR DE COMBUSTIÓN
NUCLEAR	DESCOMPOSICIÓN RADIOACTIVA

### 3. Curva de incendio normalizada

La variación de la temperatura en un incendio ha sido analizada varias veces a través de experiencias en edificios con carga combustible usual, es decir, que contenga elementos que comúnmente se encuentran en edificios; estos ensayos se han estudiado durante largos periodos de tiempo obteniendo un comportamiento característico, para el cual se ha desarrollado una ecuación empírica que entrega una ecuación capaz de representar una curva normalizada, que entrega valores de temperatura del incendio para fines de ensayo de materiales.

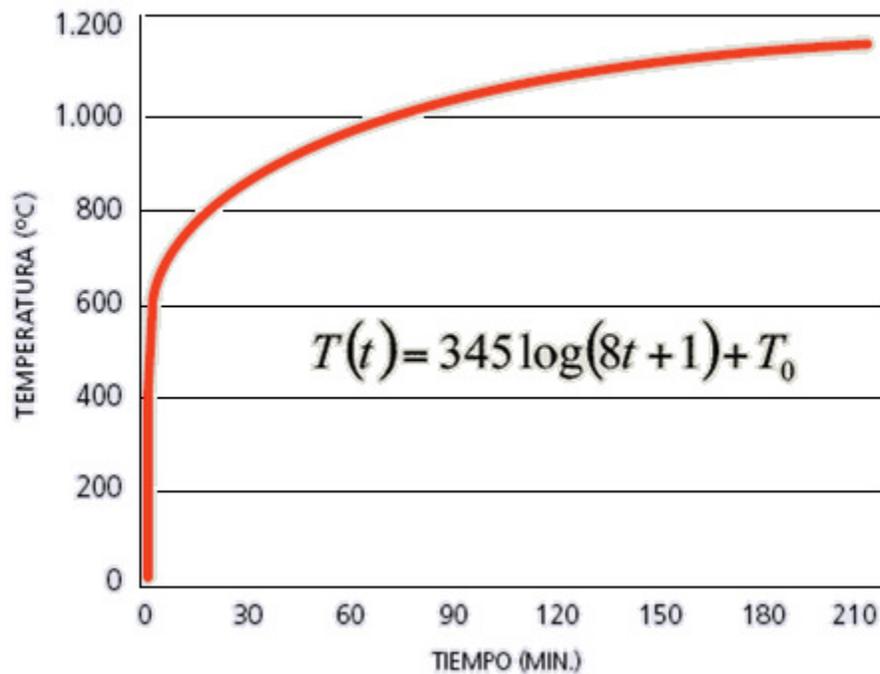


FIG. 2-2: CURVA NORMALIZADA TIEMPO - TEMPERATURA DE UN INCENDIO<sup>5</sup>

donde:

$T_0$  = Temperatura ambiente inicial, °C.

$T(t)$  = Temperatura incendio en el tiempo  $t$ , °C.

Al observar la **FIG. 2 -B**, se puede apreciar, que en la curva de incendio normalizada, al transcurrir aproximadamente unos cinco minutos, las temperaturas del incendio alcanzan valores superiores a 500°C, por lo tanto, los materiales combustibles cercanos, en su totalidad consiguen su temperatura de ignición.

Es por esto que se puede concluir que es indispensable contar con sistemas que permitan controlar y extinguir el incendio en su primera fase, además de proporcionar vías de evacuaciones seguras y eficaces para poder evacuar a todos los usuarios, pues una vez desarrollado el incendio es muy difícil poder detenerlo.

### 2.3. CARACTERÍSTICAS DEL HUMO Y SUS EFECTOS

---

Como se especifico anteriormente el humo es el producto de la combustión incompleta de los materiales combustibles, y está constituido principalmente por partículas de materia diminutas (sólidas) y pequeñas gotas de líquidos en suspensión (aerosoles), junto con gases y aire caliente<sup>4</sup>.

Las partículas sólidas consisten principalmente en hojuelas de carbón, hollín, cenizas, productos de pirolisis y óxidos de compuestos inorgánicos.

Dado que las partículas y aerosoles tienen un tamaño aproximadamente igual a la longitud de onda promedio de la luz visible, el humo posee la característica de disminuir la visibilidad, dificultando en gran medida la orientación de las personas y por ende la evacuación<sup>4</sup>.

La visibilidad es una condición física que depende de tres factores, el primero es la distancia hasta la cual podemos observar el entorno, el segundo es la opacidad del

humo y el tercero es la luminosidad del fondo, por lo tanto dependiendo de la naturaleza del humo este puede afectar en distintos grados la visibilidad al variar cualquiera de los tres factores anteriormente dichos.

La opacidad del humo, simplemente se refiere a la propiedad óptica que tiene el humo en diferentes grados, para no dejar pasar la luz en proporción apreciable; esta propiedad se mide a través de un opacímetro, el cual, mide la cantidad de luz que es capaz de atravesar el humo, al ser enviado un haz de luz.

Por otro lado las partículas de humo pueden ser nocivas al ser inhaladas, por lo tanto, al estar sometido prolongadamente a este efecto puede afectar seriamente el sistema respiratorio, junto con generar irritación en los ojos, fosas nasales y garganta limitando aun más la respuesta de los afectados. Debido a esto en edificios de alta carga de personas el humo causa cerca del 80% de las víctimas<sup>2</sup>, ya que muchas veces la zona afectada por el humo es mucho mayor que la afectada por el fuego, en una relación aproximada de 1:10<sup>6</sup>.

La generación del humo y gases tóxicos en el incendio de un edificio depende de varios factores técnicos, los cuales pueden ser controlados desde la fase de diseño del proyecto constructivo y/o analizadas en sus diversas remodelaciones, ya que se debe considerar principalmente que la calidad y cantidad de humo generada depende del material combustible, la cantidad de oxígeno disponible, las propiedades tanto físicas (dimensiones, superficie expuesta, orientación, etc) como también las químicas (composición) del material combustible, entre otras.

---

### 2.3.1. *Cantidad de humo generado por un material combustible*

---

La cantidad de humo producido en un incendio como anteriormente se señaló se debe a la combustión incompleta de los materiales combustibles, el hecho de que los materiales no se combustionen completamente ocurre por varias razones, una de ellas es que dichos materiales se encuentran en su mayoría como sólidos o líquidos y el comburente que es el oxígeno, está en estado gaseoso, por lo tanto la combustión solo se produce en la superficie del material debido a que es aquí donde ocurre el contacto entre ambos agentes. Otra de las razones es que para que se complete la combustión es necesario que la cantidad de comburente y combustibles cumplan una relación estequiométrica por lo tanto la combustión ocurre sólo hasta que estas proporciones se cumplan. Por último el mismo hecho de combatir el incendio impide la completa combustión provocando la generación de humo y gases.

Para poder estimar la cantidad de humo que se genera al combustionar distintos materiales es necesario identificar que esto no solo depende de la naturaleza del material sino también de la superficie expuesta al fuego, la posición (horizontal o vertical), la cantidad de aire disponible, la temperatura, la forma física, etc.; debido a esto es que se considera la vía experimental como la manera más representativa de cuantificar la cantidad de humo que produce un cierto material, pero aun así queda sujeto a ciertos grados de incertidumbre al variar alguna de las condiciones supuestas.

Los ensayos que han dado resultados más acertados y por ende utilizados como cuantificadores de la cantidad de humo generado en caso de incendio son: ASTM E 662 ó NBS smoke chamber, ASTM D 2843, ASTM E 84, ASTM E 906 ó Ohio State University release rate test (cámara de humo de la NBS).

Otra manera de cuantificar la cantidad de humo generado es a través del cálculo teórico, considerando ciertas simplificaciones que permitan estimar de manera aproximada la cantidad de humo generado por cada material, estos resultados son muy útiles en la medida que sean utilizados con la debida prudencia ya que solo representan una estimación.

El método consiste en los siguientes pasos:

1. Debemos conocer la completa estructura química del material que se desea estudiar, incluyendo todos aquellos aditivos que le serán incorporados, como colorantes, plastificantes, espumantes, sustancias ignífugas, etc.
2. Se debe determinar una temperatura de reacción estimada similar a la esperada obtener en caso de incendio, en la primera etapa.
3. Una vez determinada la temperatura, se puede estimar la cantidad de calor total proporcionado al sistema.
4. De acuerdo a las propiedades químicas del material se puede establecer la energía necesaria para romper los enlaces entre los elementos que conforman el material.
5. Una vez establecida la energía necesaria para romper cada enlace , se puede crear un orden en el cual estos enlaces se rompen y cuáles son los elementos resultantes, obteniendo finalmente los productos que se generan.
6. Como una simplificación se puede suponer que ocurre una combustión completa y que por ende la energía entregada es suficiente para romper todos los enlaces.
7. Con esto se puede estimar un listado de los posibles productos de la combustión, la cantidad, las características.

Como se mencionó anteriormente este análisis, no representa de mejor manera lo que ocurriría en caso de un incendio pero si sirve para realizar análisis comparativos entre materiales de manera tal de establecer cuáles son más inocuos que otros.

---

### 2.3.2. *Efectos y toxicidad de los productos de la combustión*

---

Los efectos más comunes de los productos de la combustión en el ser humano son:

#### 2.3.2.1. Efectos por causa del calor

---

El calor es uno de los inconvenientes más directos en caso de incendio, el cual genera graves consecuencias al estar expuesto en largos periodos de tiempo, produciendo aun peores resultados al estar en presencia de humedad, pues esto hace que la transferencia de calor sea mayor desde el aire al cuerpo, los efectos que esto puede generar son, por ejemplo que los pulmones reciban este calor lo que produce una disminución en la presión arterial provocando una interrupción de la corriente sanguínea, también se puede generar una hipertermia, la cual ocurre cuando el cuerpo absorbe más calor del que elimina, aumentando la temperatura normal del cuerpo, originando posteriormente lesiones en el sistema nervioso.

Según investigaciones la temperatura máxima respirable es de 140°C, pero solo durante periodos breves y humedad ambiental, a 71°C durante un minuto causa quemaduras de segundo grado<sup>7</sup>.

### 2.3.2.2. Quemaduras cutáneas

---

La quemadura es el resultado del contacto de los tejidos del organismo con el calor. La valoración de la gravedad de una quemadura se basará en la extensión de la superficie corporal quemada y el grado de profundidad de la misma. Sin embargo, no se debe olvidar en ningún momento que factores como la edad, el agente causal y ciertas localizaciones, como la cara, los pliegues y los genitales, influyen también de forma considerable en el pronóstico.

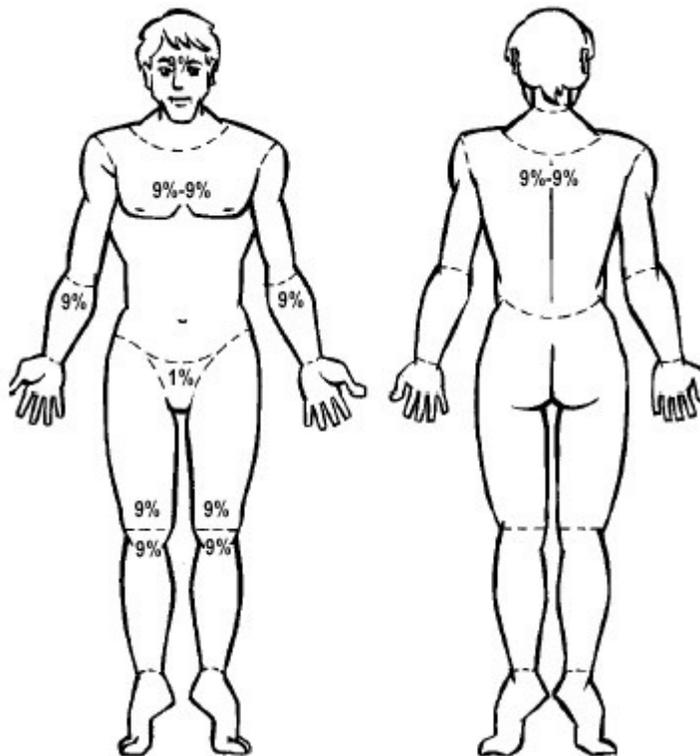


FIG. 2-3: ESTIMACIÓN DE SUPERFICIE QUEMADA, REGLA DE LOS 9

La posibilidad de supervivencia en un quemado está directamente relacionada con la extensión y profundidad de la quemadura mientras que el pronóstico de las

secuelas lo está con la localización. Se considera una quemadura de carácter LEVE cuando la superficie quemada es inferior al 10% y su profundidad no rebasa el 2º grado<sup>8</sup>.

Entre el 10 y el 30% se considera GRAVE, independientemente de sí la profundidad es de 2º o 3er grado. Entre el 30 y 50% es MUY GRAVE, y prácticamente mortal cuando supera el 50% <sup>8</sup>.

Se consideran graves independientemente de su extensión o profundidad, las quemaduras que afectan a manos, pies, cara, ojos y genitales así como todas las de 2º y 3er grado en niños, ancianos y accidentados con enfermedades previas significativas<sup>8</sup>.

#### 2.3.2.3. Efecto sobre los sentidos

---

Los sentidos pueden verse seriamente limitados por efecto de los productos de la combustión, la visibilidad como anteriormente se menciona se ve afectada por la opacidad del humo, provocando pánico al no poder escapar, a esto se suman las irritaciones provocadas en fosas nasales, garganta y ojos, estimulando estornudos y lagrimeo constante, molestias que aumentan la desesperación de los afectados.

Al ser víctima de un incendio, además de estar expuesto a los efectos antes señalados, existe el alto riesgo de morir intoxicado por los gases emitidos por los elementos en combustión, lo cual depende de la composición del material.

Los gases más comunes encontrados en un incendio son los presentados en la **TABLA 2 - II**, donde se detalla que tipo de material los originan, los efectos que produce, y las dosis letales de cada uno de estos.

**TABLA 2-II: GASES COMÚNMENTE EMITIDOS EN INCENDIOS**

GAS	EFEECTO	ORIGEN	PELIGRO
-----	---------	--------	---------

MONÓXIDO DE CARBONO (CO).	TÓXICO.	SE PRODUCE EN LA MAYORÍA DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS CUANDO FALTA OXÍGENO.	- DOSIS LETAL: 1% DURANTE 1 MIN.
CIANURO DE HIDRÓGENO (HCN).	MUY TÓXICO	LO PRODUCEN LA LANA, SEDA, NYLON, POLIURETANO Y RESINAS DE UREA	- 20 VECES MÁS TÓXICO QUE CO - DOSIS LETAL 0,05% EN 1 MIN.
ANHÍDRIDO CARBÓNICO (CO <sub>2</sub> ).	INERTE.	SE PRODUCE POR LA COMBUSTIÓN DE LA MAYORÍA DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS.	- MAREO, DOLOR DE CABEZA, ALZA DEL PULSO. - MÁXIMO 10%, PRODUCE ASFIXIA.
ACROLEÍNA (CH <sub>2</sub> =CHCHO).	IRRITANTE.	COMBUSTIÓN ÍGNEA DE CELULÓSICOS, PIRÓLISIS DEL POLIETILENO.	- DOSIS: 2780 PPM DURANTE 5 MIN.
ÁCIDO CLORHÍDRICO (HCL).	IRRITANTE, CORROSIVO	MATERIALES CON CONTENIDO DE CLORO (EJ. PVC).	- DOSIS PELIGROSA 7000 PPM DURANTE 30 MIN.
ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO) <sub>x</sub>	IRRITANTE PULMONAR.	OXIDACIÓN DE MATERIALES QUE CONTIENEN NITRÓGENO.	- DOSIS DEL ORDEN DE 0,05%.

CAPÍTULO 3 : EXIGENCIAS Y COMENTARIOS DE LA  
REGLAMENTACIÓN CHILENA

---

### 3.1. ESPECIFICACIONES DE LA ORDENANZA GENERAL DE URBANISMO Y CONSTRUCCIONES

---

En Chile la construcción de edificios debe cumplir con una serie de disposiciones mínimas de seguridad contra incendio especificadas en la “Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones” (O.G.U.C) , contenidas en el Título 4, Capítulo 3 .

Las disposiciones contenidas en este capítulo de la O.G.U.C persiguen, como objetivo fundamental, que el diseño de los edificios asegure que se cumplan las siguientes condiciones:

- Que se facilite el salvamento de los ocupantes de los edificios en caso de incendio.
- Que se reduzca al mínimo, en cada edificio, el riesgo de incendio.
- Que se facilite la extinción de los incendios.

Para poder cumplir con estos objetivos los edificios deberán protegerse ante los efectos de un incendio, en particular para facilitar el salvamento de los ocupantes, es indispensable contar con vías de evacuación adecuadas, especialmente para edificios en altura.

La OGUC establece en el Artículo 4.3.7, “Todo edificio de 7 o más pisos deberá tener, a lo menos, una “Zona Vertical de Seguridad” que, desde el nivel superior hasta la calle, permita a los usuarios protegerse ante los efectos del fuego, humos y gases y evacuar masiva y rápidamente el inmueble.”; considerando como “Zona Vertical de Seguridad”, la vía vertical de evacuación protegida.

Por otro lado, la OGUC exige una adecuada resistencia al fuego, la cual es clasificada de acuerdo a los valores especificados en la siguiente tabla.

**TABLA 3-I: RESISTENCIA AL FUEGO REQUERIDA PARA LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE LOS MUROS DE LA ZONA VERTICAL DE SEGURIDAD**

<b>TIPO</b>	<b>RESISTENCIA</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
a	120 min	F-120
b	120 min	F-120

La resistencia al fuego es la cualidad de un elemento de construcción de soportar las condiciones de un incendio estándar, sin deterioro importante de su capacidad funcional. Esta capacidad se mide por el tiempo en minutos durante el cual el elemento conserva la estabilidad mecánica, la estanquidad a las llamas el aislamiento térmico y la no emisión de gases inflamables.

El tipo de edificio (a, b, c o d) obedece a la clasificación presentadas en el **ANEXOS 4.1 y 4.2** .En este caso como la Ordenanza exige una Zona Vertical de Seguridad para aquellos edificios de 7 o más pisos, según la clasificación señalada corresponden a edificios tipo “a”, por lo tanto los muros de la zona vertical y caja de escalera deben resistir al menos 120 minutos, esto basado específicamente en las normas chilenas NCh 935-1 y NCh 935-2 (ver más información en **4.2.1** ) .

En particular la OGUC solicita las siguientes exigencias generales para la Zona Vertical:

1. La distancia máxima desde la puerta de acceso de un departamento u oficina, hasta el ingreso a una zona vertical de seguridad del mismo piso será de 40 m.
2. El diseño, construcción y terminaciones de las zonas verticales de seguridad y su continuidad hasta el egreso al exterior, a nivel de la calle, deben garantizar una resistencia al fuego correspondiente a la que se indica en la Tabla 3.1. y facilitar el ingreso y desplazamiento del personal de bomberos con su material, en caso de incendio.
3. Las zonas verticales de seguridad, deben estar dotadas de sistemas de iluminación de emergencia y de ventilación o presurización en caso de escaleras interiores, que permitan a los usuarios evacuar el edificio, sin peligro de verse afectados por los humos y gases generados por el incendio, aún cuando el suministro normal de energía eléctrica sea interrumpido.
4. Las puertas de acceso o egreso, en todos los pisos, deberán ser de cierre automático y con resistencia a la acción del fuego, tanto la hoja como sus componentes, correspondientes a la clase F-60. Todas ellas deberán estar señalizadas con el distintivo "SALIDA DE EMERGENCIA" por la cara que corresponda.
5. Los edificios que contemplen más de un piso subterráneo deberán consultar una zona vertical de seguridad inferior, que comunique hacia un espacio libre exterior o hacia el nivel de acceso del edificio, desde el último nivel de subterráneo.
6. En los edificios que consulten zonas verticales de seguridad, tanto superiores como inferiores, éstas deberán evacuar hacia el nivel de acceso del edificio no teniendo continuidad entre ellas.
7. Las zonas verticales de seguridad no deberán contener ningún tipo de instalaciones en su interior, tales como: cuarto de útiles de limpieza, ductos de basura,

de aire acondicionado, de conducciones de gas o electricidad, gabinete con bocas de salidas de red húmeda o red seca y ascensores o montacargas. Se exceptúan las instalaciones selladas de agua y las instalaciones de emergencia propias de la caja de escalera, tales como presurización e iluminación, siempre que no afecten el ancho mínimo requerido.

8. Los edificios de 10 o más pisos de altura deberán disponer las conexiones de la red seca y la red húmeda, en cada piso, en un vestíbulo contiguo a la escalera presurizada, protegido contra el fuego por muros con igual resistencia que los muros de la escalera. Dicho vestíbulo tendrá un ancho libre no inferior a 1,10 m y un largo libre no inferior a 1,60 m, medido en el sentido del recorrido y su puerta de entrada deberá tener las mismas características que la puerta de entrada a la escalera, conforme al número anterior. En dicho vestíbulo protegido podrán disponerse instalaciones del edificio siempre que no afecten las medidas libres requeridas. Podrán eximirse de contemplar vestíbulo protegido los edificios que cumplan las siguientes condiciones:

a) Que desde la escalera se acceda a un área de uso común con un ancho mínimo de 1,40 m y una superficie de al menos 10,0 m<sup>2</sup>.

b) Que las salidas de la red seca y la red húmeda se ubiquen en dicha área común a no más de 2,0 m de la puerta de la escalera, separadas por al menos 4,0 m de la puerta de cualquier unidad funcional independiente.

9. Los ductos de toma de aire de los equipos de presurización de las escaleras deberán contemplar una resistencia mínima al fuego de F-60 en toda su extensión.

La cantidad y ancho mínimo requerido para las escaleras que forman parte de una vía de evacuación, conforme a la carga de ocupación del área servida, será la que señala en la siguiente tabla.

**TABLA 3-II: CANTIDAD DE VÍAS DE EVACUACIÓN Y SU ANCHO MÍNIMO**

N° de Personas				Cantidad y ancho mínimo	
		hasta	50	1	1,10 m
Desde	51	hasta	100	1	1,20 m
Desde	101	hasta	150	1	1,30 m
Desde	151	hasta	200	1	1,40 m
Desde	201	hasta	250	1	1,50 m
Desde	251	hasta	300	2	1,20 m
Desde	301	hasta	400	2	1,30 m
Desde	401	hasta	500	2	1,40 m
Desde	501	hasta	700	2	1,50 m
Desde	701	hasta	1.000	2	1,60 m

**Nota: Sobre 1.000 personas, se debe realizar un estudio especial.**

Como se observa en la tabla anteriormente presentada, cuando el número de personas supera los 200, es necesario construir una segunda vía de evacuación.

Cuando se requieran dos o más escaleras, éstas deberán disponerse de manera tal que en cada piso constituyan vías de evacuación alternativas, independientes y aisladas entre sí. Si no existiere en un mismo piso acceso a dos o más escaleras como vías de evacuación de uso alternativo, la única escalera de evacuación accesible en cada piso deberá terminar en una terraza de evacuación que cumpla con las exigencias señaladas en la ordenanza.

Tratándose de escaleras contiguas, deberán estar separadas por muros con resistencia mínima al fuego según la Ordenanza y sus puertas de acceso, en cada piso, deberán disponerse separadas por al menos 3 m.

### 3.2. COMENTARIOS SOBRE LA OGUC

---

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, es la norma que regula en Chile el diseño y construcción de sistemas contra incendio, entre estas exigencias se menciona acerca de las Zonas Verticales de Seguridad, requiriendo el cumplimiento de diversos criterios que plantean medianamente el objetivo pero que muchas veces carecen de una especificación clara que permita la aplicación efectiva, ya que no define métodos de diseño claros.

Dentro de las exigencias que se presentaron en el punto anterior, es necesario especificar cómo se debe implementar una correcta ventilación o presurización, pues si bien en la norma se especifica que es necesario utilizar alguno de estos dos sistemas de control de humo, su correcta ejecución para asegurar de manera efectiva la protección que se desea lograr en el interior de las Zonas Verticales de Seguridad, no es detallada.

Otro aspecto importante a analizar es que se menciona que esta zona vertical tiene como uno de sus objetivos evacuar masivamente a los ocupantes, por lo tanto debe considerar que todas las puertas de la zona vertical puedan abrirse simultáneamente y debe a la vez tener un ancho de las vías suficiente, aspecto que claramente no ha sido considerado al especificarse en dicha norma que por cada cincuenta ocupantes más en el interior del edificio, la vía debe ampliar su ancho en solo diez centímetros, desconociéndose las bases técnicas sobre las que se deducen dichos espacios.

Es sabido que la gente frente a las multitudes se adapta a los anchos disponibles, por lo tanto es probable que estos 10 cm adicionales por cada 50 personas adicionales, sean útiles

Al graficar la tabla 3-III, se puede obtener el siguiente grafico.

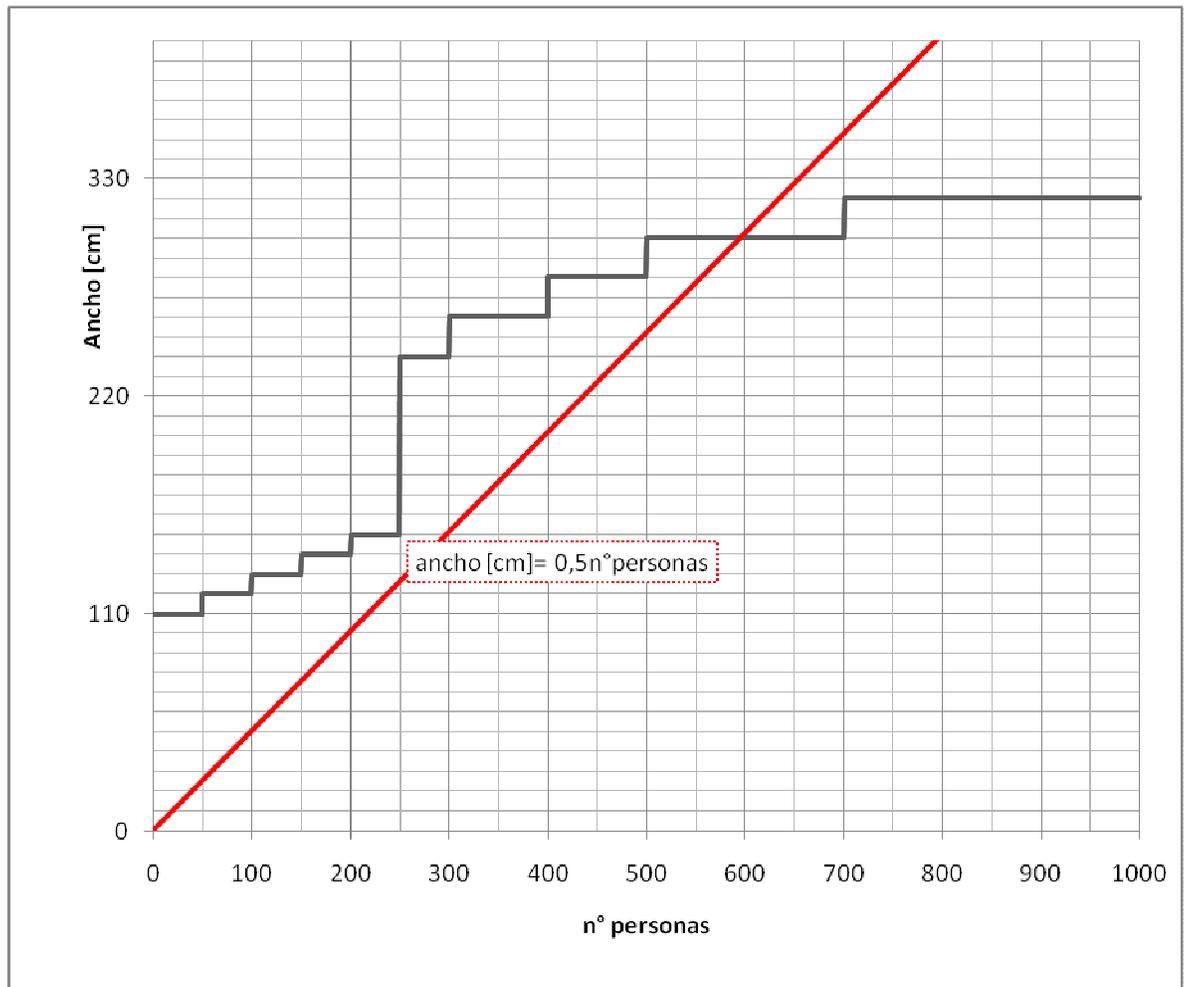


FIG. 3-1: GRAFICO DE TABLA 3-III, LINEA ROJA REPRESENTA TENDENCIA.

Otro concepto que queda abierto a distintas interpretaciones en la OGUC, es el de vías alternativas de evacuación, el cual podría ser aclarado al especificar que, dos vías de evacuación son alternativas si y solo si su funcionamiento es independiente una de la otra.

## CAPÍTULO 4 : PROPAGACIÓN Y CONTROL DEL HUMO

---

#### 4.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL MOVIMIENTO DEL HUMO

---

Al ocurrir un incendio en el interior de un espacio o recinto, se genera un escenario dividido en dos zonas generales, una de ellas corresponde a la “**zona de humo caliente**”, la cual recoge aquellas áreas en las cuales la temperatura del humo es suficientemente alta para que el cuerpo del humo tienda a elevarse hacia el techo, mientras que el aire más limpio desciende, normalmente esto ocurre en el lugar que se genera el incendio; la otra zona corresponde a la “**zona de humo frío**”, la cual incluye aquellos espacios donde se ha reducido la fuerza de las corrientes conductoras del incendio, debido a la combinación del humo con el aire, por lo tanto el movimiento del humo queda determinado por otros factores como el viento, ventilación u otros sistemas.

Es necesario analizar el movimiento del humo para poder diseñar la zona vertical, sobre todo aquel producido en la “zona de humo frío”, pues es este movimiento el que caracteriza de manera general la propagación del humo en el interior del edificio.



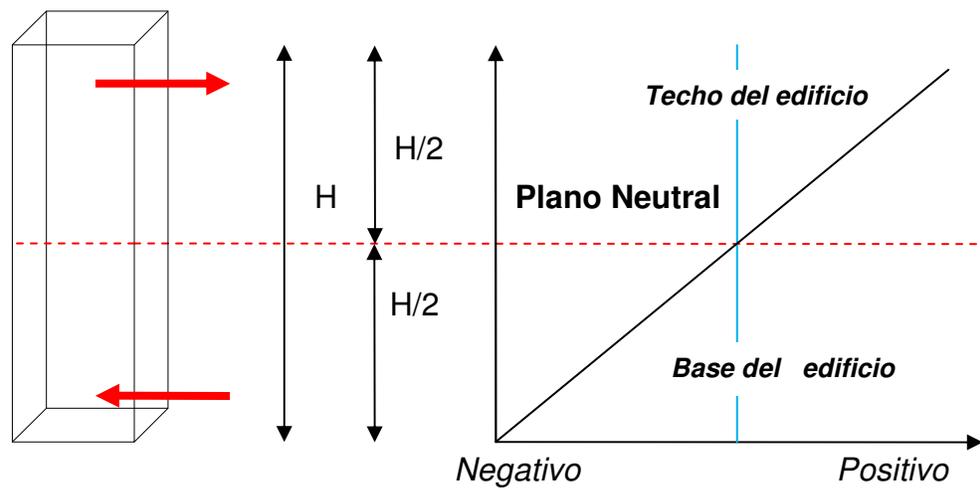
FIG. 4-1: MOVIMIENTO VERTICAL Y HORIZONTAL DEL HUMO

Los factores predominantes que causan el movimiento del humo en los edificios altos son:

1. La expansión y flotabilidad de los gases al calentarse
2. El efecto de chimenea
3. La influencia de la fuerza del viento externo
4. Corrientes de aire forzado en el interior de edificio

Cuando ocurre un incendio en un edificio en el que hay aberturas a la atmósfera, la presión próxima al piso será ligeramente inferior a la atmosférica (es decir, el aire será arrastrado dentro del incendio) y próximo al cielorraso la presión será ligeramente superior a la atmosférica. En alguna parte entre estas dos posiciones habrá un nivel en el que la presión interior y exterior del edificio es la misma, esto es llamado el plano neutro.

Una estimación de la altura del plano neutro es de considerable importancia en el control de humo. Su posición depende principalmente de la temperatura de los gases y de las dimensiones de las aberturas dentro el recinto de fuego. Adicionalmente su posición podría variar de acuerdo a si el incendio está creciendo rápidamente o lentamente. De manera aproximada se estima que para edificios altos el plano neutro se encuentra en la mitad del edificio considerando una caja con una sola abertura cerca de la parte inferior y otra en la parte superior (ver **FIG. 4 - C**).



**FIG. 4-2: DIFERENCIA DE PRESIÓN Y UBICACIÓN DE PLANO NEUTRAL**

La magnitud de la presión diferencial desarrollada sobre el incendio dependerá de la longitud de la columna de gases calientes sobre él. (Cualquier presión desarrollada por la expansión de los gases debido al calentamiento por el fuego será rápidamente liberada ya que el recinto de fuego no será un volumen sellado).

---

#### 4.1.1. *Expansión y flotabilidad de los gases al calentarse*

---

Como se mencionó anteriormente, cualquier presión desarrollada por la expansión de los gases debido al calentamiento por el fuego será rápidamente liberada puesto que el recinto de fuego no será un volumen sellado. Por lo tanto se despreciará esta presión ya que sus efectos solo están presentes al comenzar la propagación del humo, y luego este factor pierde importancia.

El humo a altas temperaturas posee una fuerza de flotabilidad debido a que este reduce su densidad, esta fuerza puede ser expresado como la diferencia de presión entre la zona donde se produce el fuego y sus alrededores en el interior del edificio (ver **FÓRMULA 1**).

$$\Delta P = C \cdot a \cdot h \cdot \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_F} \right) = 3460 \cdot h \cdot \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_F} \right)$$

( EC. 1)

donde:

$\Delta P$  = Diferencia de presión, Pa.

$a$  = Presión atmosférica, Pa.

$T_0$  = Temperatura absoluta entorno, K.

$T_F$  = Temperatura absoluta sector incendio, K.

$C$  = Coeficiente, 0.0342.

$h$  = Distancia sobre el plano neutral, m.

A partir de esta fórmula, se puede obtener el gráfico presentado en el **ANEXOS 4.3**, que simplifica la obtención de la presión de flotabilidad, para una temperatura absoluta de entorno de 20°C, y altura del plano neutral variable.

Como el humo viaja fuera del fuego, su temperatura desciende debido a la transferencia de calor y la dilución de este. Por lo tanto, el efecto de flotabilidad en general disminuye con la distancia del fuego.

---

#### *4.1.2. Efecto chimenea*

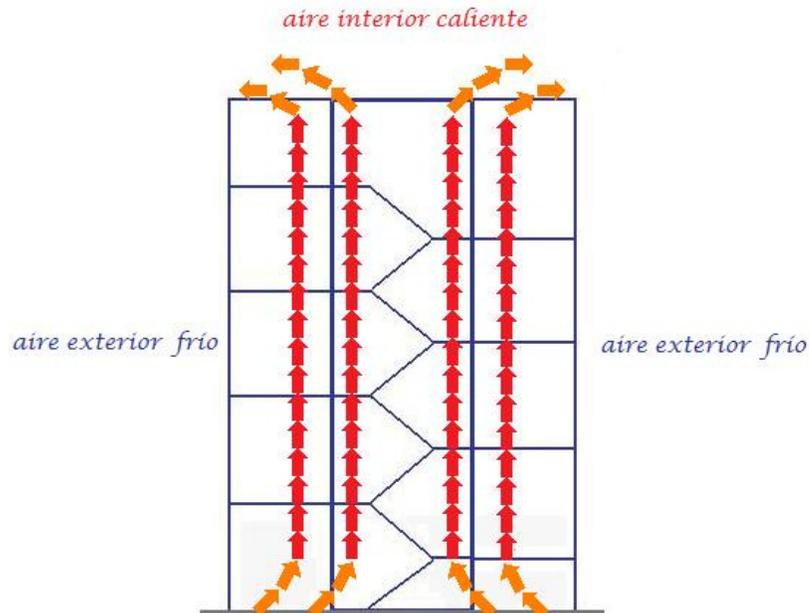
---

Este efecto es responsable de la mayor parte de los movimientos naturales del aire, por ende culpable de la amplia distribución de humo y gases tóxicos, debido a que este movimiento puede hacer que volúmenes importantes de humos circulen por los huecos de escaleras y de ascensores aun cuando las puertas de acceso a estos se encuentren cerradas.

El efecto chimenea consiste en la generación de un flujo ascendente a través de conductos que comunican el interior del edificio con el exterior; siendo, por esta razón, la zona vertical una de las vías que se ve directamente afectada por esta circulación de humo, producida por la diferencia de temperaturas que hay en el interior con respecto al exterior, desplazando el aire más frío que se encuentra en la parte superior.

Este fenómeno principalmente se produce porque el aire caliente es menos denso que el aire más frío y por lo tanto puede ocurrir de manera inversa en el caso en que la temperatura exterior sea mayor que la interior, denominado “Efecto Chimenea Inverso”, la dirección del movimiento del aire en el interior de un edificio se puede conocer sólo considerando la temperatura en el interior y en el exterior del edificio (ver **ANEXOS 4.4**).

La siguiente figura muestra la circulación del humo producido por una diferencia de signo positivo, generando el Efecto Chimenea.



**FIG. 4-3: DESCRIPCIÓN DE MOVIMIENTO DEL HUMO PRODUCTO DEL EFECTO CHIMENEA**

Debido a las características del incendio lo propio es que se produzcan temperaturas en el interior que superen las del exterior, por lo tanto se genera una diferencia de presión que direcciona el movimiento del aire de manera ascendente en el interior.

La diferencia de presión se puede calcular como:

$$\Delta P = C \cdot a \cdot h \cdot \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_i} \right) = 3460 \cdot h \cdot \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_i} \right)$$

( EC. 2 )

donde:

$\Delta P$  = Diferencia de presión, Pa.

$a$  = Presión atmosférica, Pa.

$T_0$  = Temperatura absoluta exterior, K.

$T_i$  = Temperatura absoluta interior, K.

$C$  = Coeficiente, 0.0342.

$h$  = Distancia sobre el plano neutral, m.

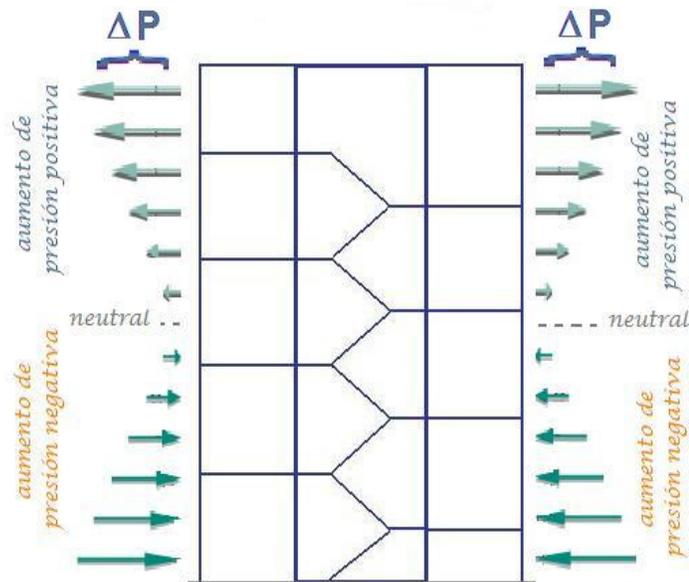


FIG. 4-4: DIFERENCIA DE PRESIÓN QUE GENERA EL EFECTO CHIMENEA

Junto con determinar la diferencia de presión, se puede obtener a la vez el caudal de aire que se moviliza debido a esta diferencia de presión (**FÓRMULA 3**).

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h \cdot \frac{T_i - T_0}{T_i}}$$

( EC. 3)

donde:

Q = Caudal efecto chimenea, m<sup>3</sup>/s.

A = Área de flujo, m<sup>2</sup>.

T<sub>0</sub> = Temperatura absoluta exterior, K.

T<sub>i</sub> = Temperatura absoluta interior, K.

C = Coeficiente de descarga, usualmente entre 0.65 y 0.70.

h = Distancia al plano neutral, se considera como 2/3 de la altura del piso (m)

El diseño del edificio es factor importante para poder controlar las diferencias de presión generadas en un incendio, si se analiza un edificio sin particiones internas, otro con separación hermética de cada piso, y un edificio con ejes verticales y aperturas horizontales, este último es el ideal pues evita grandes diferencias de presión entre los pisos, y de los espacios interiores con el exterior, controlando el movimiento del humo en el interior y permitiendo una propagación más lenta en caso de incendio.

El viento produce efectos sobre el comportamiento del flujo de aire en el interior del edificio, pues cuando el flujo de aire entra a través de las aberturas en las paredes de barlovento y sale por las aberturas en las paredes de sotavento, varía la presión del aire en el interior del edificio.

La presión del viento sobre la superficie dependerá de: la velocidad y dirección del viento con respecto al edificio, la ubicación y entorno; y finalmente de la forma del edificio.

La presión sobre la superficie puede ser expresada como:

$$P_w - P_0 = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_w^2$$

( EC. 4)

donde:

$P_w$  = Presión ejercida sobre la superficie del edificio, Pa.

$P_0$  = Presión estática del viento, Pa.

$C_p$  = Coeficiente de presión superficial.

$\rho$  = Densidad del aire, kg/m<sup>3</sup>.

$v_w$  = Velocidad media del viento, m/s.

Donde se puede considerar la densidad del aire como 1.2 kg/m<sup>3</sup> a una temperatura ambiente de 20°C, y el coeficiente de presión superficial dentro del rango -0.8 a 0.8, con valores positivos para paredes a barlovento y valores negativos

para paredes a sotavento. El coeficiente de presión depende de la geometría de edificio y varía en la zona sobre la superficie de la pared.

A continuación se presentan algunas figuras descriptivas del efecto generado por el viento en los edificios.

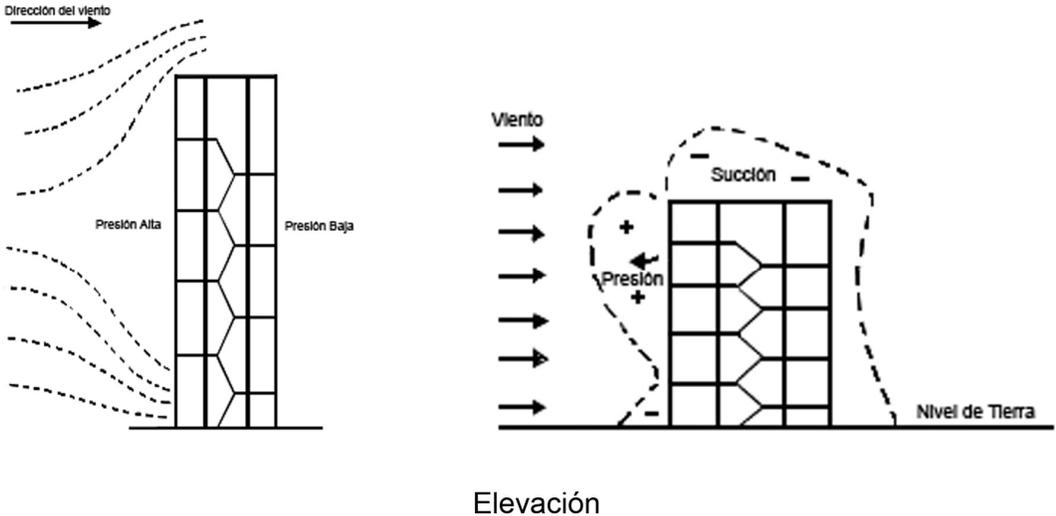


FIG. 4-5: EFECTO DEL VIENTO EN ELEVACIÓN

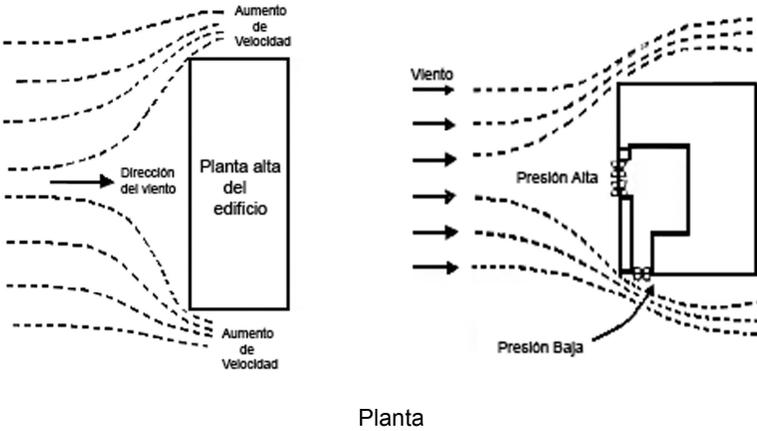


FIG. 4-6: EFECTO DEL VIENTO EN PLANTA

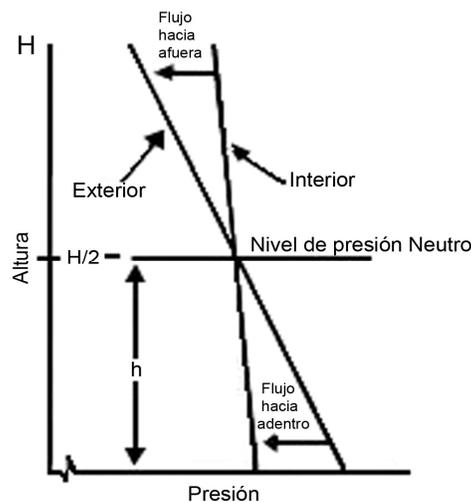
Con frecuencia en situaciones de fuego, una ventana se rompe en el compartimento del fuego. Si la ventana está sobre el lado de sotavento del edificio, la presión negativa causada por el viento expulsa el humo del compartimento de fuego;

esto puede reducir enormemente la propagación del humo en el edificio. Sin embargo, si la ventana rota está sobre el lado de barlovento, el viento propaga el humo hacia todas partes; esto pone en peligro las vidas de los usuarios y dificulta las tareas de extinción. Las presiones inducidas por el viento en este tipo de situación pueden ser relativamente grandes y fácilmente pueden dominar el movimiento de aire en el edificio.

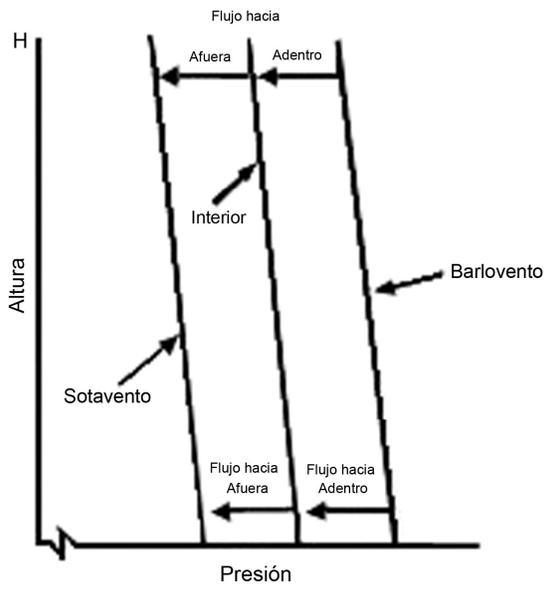
### **Efecto combinado de viento y diferencia de temperaturas**

En la mayoría de los casos, el movimiento natural del aire depende de una fuerza combinada de efectos, chimenea y viento.

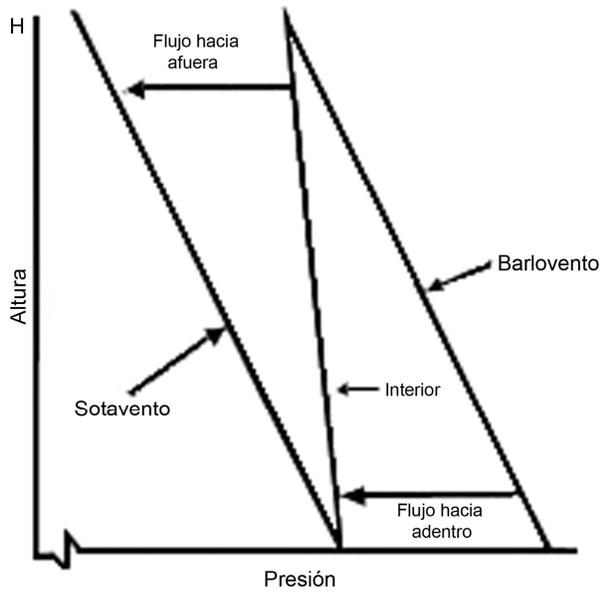
Las figuras muestran el efecto combinado de viento y fuerzas producidas por la diferencia de temperatura.



**FIG. 4-7: ACCIÓN DEL EFECTO CHIMENEA CON NIVEL DE PRESIÓN NEUTRA EN LA MITAD DEL EDIFICIO**



**FIG. 4-8: ACCIÓN DEL VIENTO CON IGUAL MAGNITUD DE PRESIÓN EN BARLOVENTO Y SOTAVENTO**



**FIG. 4-9: ACCIÓN DEL VIENTO Y CHIMENEA COMBINADOS**

Tal como se muestra en las figuras anteriores las presiones debido a cada efecto son ambas consideradas para determinar la diferencia de presión total a través del edificio.

La relativa importancia del efecto chimenea y viento depende de la altura del edificio, de la resistencia interna al flujo vertical, localización, características del flujo generado en las aberturas, el terreno local y protección inmediata de la construcción.

---

#### 4.1.4. *Efectos Producidos por el Movimiento de Aire Forzado*

---

Antes de conocer el concepto de control de humo, el movimiento forzado de aire en el interior de los edificios producido por los equipos de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC, Heating Ventilating and Air Conditioning), eran automáticamente desactivado y cerrado para evitar de esta manera la propagación del humo a través de los ductos, pero hoy en día existe la idea de que estos sistemas pueden servir como ayuda para detectar el incendio cuando el fuego comienza en alguna parte desocupada de un edificio, ya que el sistema puede transportar el humo a un espacio donde la gente pueda oler el humo y ser alertado del fuego para luego desactivar y cerrar el sistema, evitando tanto la propagación del humo como el suministro de aire (comburente) al espacio.

De todas maneras esto no previene el movimiento de humo por el suministro, ni devoluciones de aire debido a los efectos anteriormente señalados, por lo tanto las zonas que se deseen proteger no deben tener ductos de circulación de aire forzado para evitar estas complicaciones.

## 4.2. MÉTODOS PARA CONTROLAR EL MOVIMIENTO DEL HUMO

---

Los métodos que a continuación se señalan pueden ser utilizados solos o combinados con el objetivo de modificar el movimiento del humo en beneficio de los ocupantes del edificio afectado.

### 4.2.1. *Compartimentación*

---

La compartimentación es el método más antiguo y fundamental del control de humo, se basa en la materialización de barreras, representadas como muros, tabiques, suelo, puertas, entre otros; las cuales oponen suficiente resistencia al fuego para mantenerse durante bastante tiempo, de manera tal de evitar la propagación del fuego.

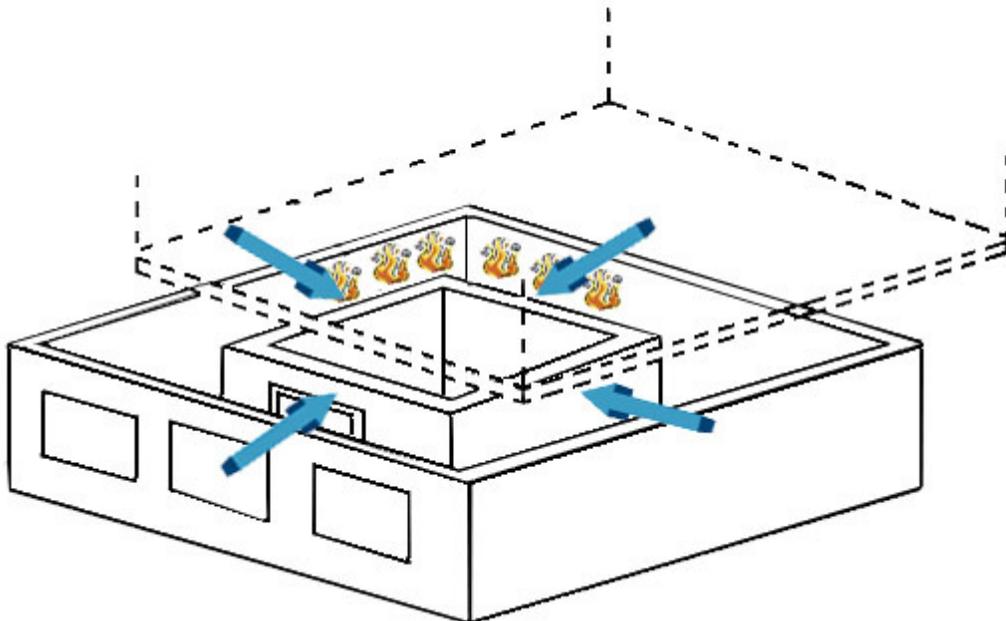


FIG. 4-10: MUROS Y PISO UNIDOS CONFORMAN LA ZONA PROTEGIDA

La filtración de humo a través de las barreras que conforman el compartimento, es la principal debilidad de este método, dependiendo del tamaño y forma de los orificios, junto con la diferencia de presión entre un lado y otro, será la cantidad de humo filtrado.

Cuando el humo pasa a través de una abertura de tamaño relativamente pequeño que está totalmente por encima de la capa de humo o cuya superficie de contacto es pequeña comparada con el tamaño de la abertura, es posible emplear adaptaciones de la ecuación de Bernouilli para calcular el movimiento del humo. Las fórmulas básicas han sido reunidas y adaptadas a las siguientes:

$$Flujo = 0,839 \cdot A \cdot \sqrt{\Delta P}$$

( EC. 5)

$$\Delta P = 3460 \cdot \left( \frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_f} \right) \cdot h$$

( EC. 6)

donde:

$Flujo$  = Flujo de humo a través de la filtración, m<sup>3</sup>/s.

$A$  = Superficie de la abertura, m<sup>2</sup>.

$h$  = Distancia el plano neutral, se considera como 2/3 de la altura del piso (m)

$T_o$  = Temperatura ambiente, K.

$T_f$  = Temperatura de la zona incendiada, K.

$\Delta P$  = Diferencia de presión, Pa.

La superficie de abertura puede ser estimada a partir de la tabla presentada en el **ANEXOS 4.5.**

Los elementos de construcción que forman parte de la compartimentación de un espacio deben ser altamente resistentes al fuego. Según la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, analizada en el **Capítulo 3**, los elementos que conforman la zona vertical de seguridad deben pertenecer a la categoría F-120, de acuerdo a la normalización chilena.

En Chile existen dos normas que tienen por objeto establecer las condiciones de ensayo y los criterios que permiten determinar la resistencia al fuego tanto de elementos de construcción general (NCh 935-1 Of.97), como para aquellos elementos de construcción concebidos para cerrar las aberturas en muros y elementos divisorios en general (NCh 935-2 Of.84).

- **Alcances de la Nch 935-1 Of.97**

Esta norma tiene por objeto establecer las condiciones de ensayo y los criterios que permiten determinar la resistencia al fuego de elementos de construcción en general.

Además implanta que la resistencia al fuego es la cualidad de un elemento de construcción de soportar las condiciones de incendio estándar, sin deterioro importante de su capacidad funcional.

Esta cualidad se mide por tiempo en minutos durante el cual el elemento conserva:

- La estabilidad mecánica.
- La estanquidad a las llamas.
- El aislamiento térmico.
- La no emisión de gases inflamables.

Los instrumentos utilizados en este ensayo son

- Horno
- Sistema mecánico de cargas (si fuera necesario)
- Termocuplas

Los elementos son sometidos a condiciones de temperatura en el interior del horno de manera controlada variando en función del tiempo respecto la curva normalizada tiempo – temperatura (presentada en el **Capítulo 2**).

Además en el horno deberá existir una sobrepresión constante de  $10 \pm 2$  Pa, durante todo el periodo de calentamiento para el ensayo de los elementos de separación de la edificación. (Ver más detalles acerca del ensayo en la publicación de la Norma Chilena Oficial)

- **Alcances de la Nch 935-2 Of.84**

Esta norma tiene por objeto establecer el método y las condiciones de ensayo y evaluación de la resistencia al fuego de puertas y otros elementos de construcción concebidos para cerrar las aberturas en muros y elementos divisorios en general.

El método de ensayo está basado en la norma NCh 935-1, utilizando el mismo criterio de resistencia al fuego, pero agrando mayor especificación para verificar la no pérdida de funcionalidad, es por esto que se realiza el ensayo con el mismo muro donde estará ubicado, su sistema de cierre y otros accesorios complementarios. (Ver más detalles acerca del ensayo en la publicación de la Norma Chilena Oficial).

Se utiliza para mantener una concentración aceptable de humo en un lugar sometido a infiltración desde otro adyacente, puede ser eficaz si la cantidad de humo que entra comparado con la cantidad de aire limpio que hay en el espacio a proteger o que entra para purgar o eliminar el humo de ese espacio es mucho mayor.

De acuerdo a las investigaciones realizadas por MacGuire, Tamura y Wilson el nivel mínimo de oscurecimiento por humo es unas 100 veces superior a los límites de tolerancia, por lo cual, indicaron que una zona se puede considerar “razonablemente segura”, respecto a su oscurecimiento por el humo, si su atmosfera no está contaminada en más de un 1% por la atmosfera situada en el lugar inmediato del fuego.

Es evidente que la dilución reduce también la concentración de componentes tóxicos, pero este es un problema más complicado y no se ha hecho ninguna afirmación respecto a la dilución de los gases tóxicos que proporcionaría una atmosfera segura.

Se incluye un análisis sencillo de dilución de humo:

$$a = \frac{1}{t} \cdot \ln\left(\frac{C_0}{C}\right)$$

( EC. 7)

donde:

$C_0$  = Concentración inicial del contaminante.

$C$  = Concentración del contaminante en el momento  $t$ .

$a$  = Dilución expresada en número de cambios por minutos

$t$  = Tiempo transcurrido desde que el humo deja de entrar en el espacio o desde que ha cesado la producción de humo, en minutos.

Mantener una atmósfera no contaminada en más de un 1%, significa mantener un coeficiente  $C_o/C$  igual a 100, lo que significa reducir la concentración de humo al 1 % de su valor inicial en un tiempo t. (ver ejemplo en **ANEXOS 1.1**)

---

#### 4.2.3. *Presurización*

---

La presurización puede ser aplicada a cualquier sector que se desee proteger del humo y consiste básicamente en producir corrientes de aire a gran velocidad en los pequeños espacios que quedan alrededor de las puertas cerradas y en las grietas de las paredes, evitando así la penetración del humo en ellos. La NFPA 92A y NFPA 101, analiza los sistemas de presurización producidos por ventiladores mecánicos, otorgando antecedentes interesantes para el correcto análisis de este método de control de humo.

De acuerdo a las investigaciones realizadas por la NFPA la velocidad del aire necesaria para poder inhibir el movimiento del humo en las aberturas implica cantidades de aire suficientes para incitar el aumento del fuego aproximadamente 10 veces el tamaño que hubiese sin esa corriente; debido a esto es sumamente necesario realizar una correcta implementación de este método para evitar sucesos adversos.

Este método de diseño posee los siguientes aspectos a considerar:

1. Zonas de aberturas y grietas en las superficies de barrera.
2. Información del tiempo (temperatura exterior y vientos).
3. Diferencias de presión (máxima y mínima) que son posibles de aplicar.
4. Número de puertas abiertas.

Las fugas producidas en las aberturas y grietas de las superficies de barreras pueden ser evitadas por la aplicación de una presión, en el interior de la zona vertical, superior a la presión existente en el exterior de esta, ambiente donde se encuentra el incendio. Por lo tanto la mínima diferencia de presión para una zona sin rociadores es un valor que no sea superado por la flotabilidad de los gases calientes, esto para garantizar que no ingresará el humo al interior de la zona protegida. El valor se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$\Delta P_{\min} = \Delta P = 3460 \left[ \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_f} \right] \cdot h$$

( EC. 8)

donde:

$\Delta P_{\min}$  = Mínima diferencia de presión

$\Delta P$  = Diferencia de presión debido a la flotabilidad de los gases calientes (Pa)

$T_0$  = Temperatura absoluta del entorno (K)

$T_f$  = Temperatura absoluta de los gases calientes (K)

$h$  = Distancia el plano neutral, se considera como 2/3 de la altura del piso (m)

Se considera un Factor de Seguridad de 7.5Pa, adicional a la presión mínima.

Por otro lado la máxima diferencia de presión que se puede imponer en el interior de la zona es aquella que no supere la fuerza máxima que se puede ejercer para abrir la puerta de acceso.

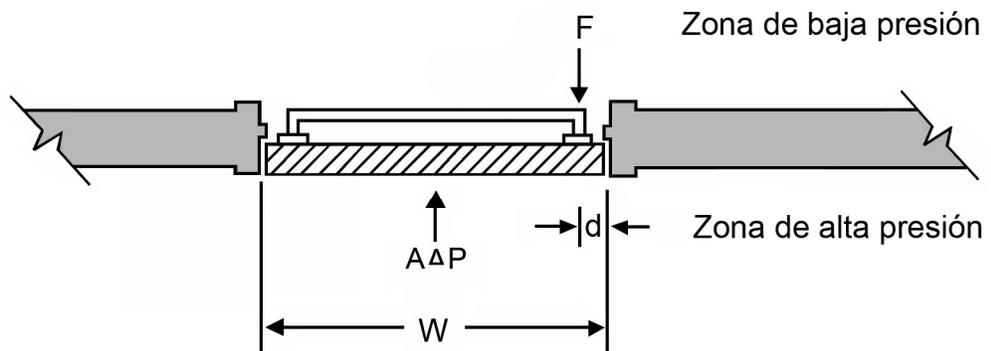


FIG. 4-11: DIAGRAMA DE FUERZAS

A partir del análisis de fuerzas mostrado en la figura anterior la fuerza para abrir la puerta se puede expresar como:

$$F = F_r + \frac{(WA)\Delta P}{2(W - d)}$$

( EC. 9)

donde:

$F$  = Fuerza total para abrir la puerta (lb)

$F_r$  = Fuerza para superar el cierre de la puerta y otras fricciones (lb)

$W$  = Ancho de la puerta (ft)

$A$  = Área de la puerta (ft<sup>2</sup>)

$\Delta P$  = Diferencia de Presión a través de la puerta (in. w. g.)

$d$  = Distancia desde la perilla hasta el extremo de cierre de la puerta (ft)

*nota: las unidades anteriormente señaladas pueden ser traspasadas al S.I. a través de la conversión señalada en el **ANEXOS 2**.*

La SFPE, “Society of Fire Protection Engineers”, afirma que la fuerza para superar el cierre de la puerta usualmente es mayor a 13N y algunas veces llega a ser tan grande como 90N, por otro lado, International Building Code permite un máximo de 133N como fuerza total para abrir la puerta, valor máximo que está estipulado en la NFPA101, Life Safety Code.

Por lo tanto:

$$F - F_r = 133N - 90N = 43N = \frac{(WA)\Delta P}{2(W - d)}$$

#### RELACIÓN 1

A partir de lo anterior, de acuerdo a las características de la puerta se puede estimar la sobrepresión máxima que debe existir en el interior de la zona para que esta se encuentre presurizada y permita abrir las puertas.

Una vez obtenido el rango de diferencia de presión, se debe escoger el tipo de instalación que provea una presión en el interior de la zona vertical que permanezca estable sin tener grandes fluctuaciones en su interior al momento de abrir las puertas.

La velocidad del aire en el interior de la zona presurizada es función de la diferencia de presión. Si las puertas están cerradas, la presión interior impide el ingreso de humo a través de infiltraciones, pero si una o más puertas se abren, se crea una velocidad en el o los vanos, que impide el ingreso de humo al interior.

Un diseño de presurización adecuado debe ser capaz de establecer el número de puertas que pueden estar simultáneamente abiertas cuando el sistema de control de humo está operando, sin afectar el funcionamiento de éste. Un sistema que permita que todas las puertas de acceso se encuentren abiertas podría asegurar que el sistema siempre funciona, pero este probablemente acrecentaría el costo del sistema considerablemente.

La decisión sobre el número de puertas que podrían ser simultáneamente abiertas depende en gran medida del comportamiento de los ocupantes del edificio, pues si sólo se pueden abrir cierta cantidad de puertas es necesario tener un plan de evacuación y que este sea conocido por los usuarios para que en caso de incendio puedan ser dirigidos y evacuados ordenadamente, pero en el caso de edificios de estadía momentánea como los hoteles, difícilmente los usuarios seguirán las instrucciones y por lo tanto existe el gran riesgo que el sistema no pueda controlar el humo que ingresa a la zona, es por esto que se hace imprescindible diseñar el sistema tal que permita abrir cualquier puertas.

Por otro lado una vez obtenido el rango de sobre- presión que debe existir en la zona presurizada, se debe calcular el caudal del ventilador que conviene utilizar al implementar el sistema de control de humo, para esto es necesario tener en cuenta que se debe generar una velocidad de control mínima y que el sistema debe seguir funcionando con un número de puertas abiertas.

En general se asume una velocidad de control de 1m/s ( $V_c$ ), por lo tanto por cada puerta abierta o vano se dispersa un caudal igual a:

$$Q_{puerta} = V_c \cdot A_{puerta}$$

( EC. 10)

donde:

$A_{puerta}$  = área de la puerta o vano, m<sup>2</sup>.

$Q_{puerta}$  = Caudal que sale por la puerta o vano, m<sup>3</sup>/s.

Ahora el dilema es, ¿Para cuántas puertas abiertas se debe diseñar el sistema de control de humo?, no existe un criterio definido, pero de acuerdo a las investigaciones realizadas por el departamento de “Prevención y Protección contra incendios”, de la Asociación Chilena de Seguridad, lo usual es que se supongan 3 puertas abiertas, considerando una de ellas permanentemente abierta como vía de evacuación hacia el exterior del edificio y las otras dos como la evacuación en fase de cada uno de los pisos.

Particularmente la NFPA es bastante abierta, y no otorga un número mínimo de puertas que deben considerarse abiertas, solo menciona que debe ser especialmente analizado este punto dependiendo de las características del edificio, finalmente en los países más avanzados, hoy en día, se ha decidido diseñar planes de evacuación acorde con los sistemas de control de humo, es decir, se realizan evacuaciones en fase monitoreadas desde un lugar seguro de incendio, comunicando a los usuarios de cada piso cuando deben evacuar y por qué vías hacerlo.

En Chile de acuerdo a la OGUC, se debe considerar una evacuación “masiva”, pero no es especificado en esta ordenanza como se debe realizar esta evacuación.

Luego, el caudal del ventilador para un modo donde controle la velocidad de control se obtiene como:

$$Q_{\text{ventilador}} = N^{\circ}_{\text{puertas}} \cdot Q_{\text{puerta}}$$

( EC. 11)

donde:

$Q_{\text{ventilador}}$  = Caudal que debe entregar el ventilador, m<sup>3</sup>/s.

Y para un modo donde controle la presurización, el caudal del ventilador se obtiene de la siguiente manera:

$$Q_{\text{ventilador}} = 0,83 \cdot A_{\text{filtración}} \cdot \Delta P^{1/2}$$

( EC. 12)

donde:

$Q_{\text{ventilador}}$  = Caudal que debe entregar el ventilador, m<sup>3</sup>/s.

$A_{\text{filtración}}$  = Área de pérdida de aire a través de las aberturas, m<sup>2</sup>.

$\Delta P$  = Diferencia de presión, Pa.

*nota: mayor detalle acerca del diseño de una zona vertical presurizada ver el siguiente capítulo.*

Para obtener el área de filtración es necesario considerar las pérdidas por la envolvente y alrededor de las puertas, representadas con valores de referencias más o menos detallados en las tablas presentadas a continuación, confeccionada con datos extraídos de la norma NFPA 92A.

**TABLA 4-I: PÉRDIDAS POR ENVOLVENTE**

ELEMENTO DE CONSTRUCCIÓN	HERMETICIDAD DEL MURO	RADIO DE AREA A/A <sub>w</sub>
MUROS CAJA ESCALERA	ALTA	0.14 X 10 <sup>-4</sup>
CONSIDERANDO GRIETAS, EXCEPTO LAS QUE SE ENCUENTRAN ALREDEDOR DE LAS PUERTAS	MEDIA	0.11 X 10 <sup>-3</sup>
	BAJA	0.35 X 10 <sup>-3</sup>
		A/A <sub>F</sub>
PISOS CONSIDERANDO GRIETAS DE CONSTRUCCIÓN Y ENTORNO DE PENETRACIONES	ALTA	0.66 X 10 <sup>-6</sup>
	MEDIA	0.52 X 10 <sup>-5</sup>
	BAJA	0.17 X 10 <sup>-4</sup>

A: AREA DE GRIETA, A<sub>w</sub>: AREA DE MURO, A<sub>F</sub>: AREA DE PISO

**TABLA 4-II: OTRAS PÉRDIDAS POR ENVOLVENTE**

AREA DE LA ZONA	ZONA PRESURIZADA	AREA DE ESCAPE DE LA ZONA	FLUJO DE ESCAPE
MENOS DE 50M <sup>2</sup>	10PA	0.0340M <sup>2</sup>	0.090M <sup>3</sup> /S
100M <sup>2</sup>	10PA	0.0524M <sup>2</sup>	0.137M <sup>3</sup> /S
400M <sup>2</sup>	10PA	0.1256M <sup>2</sup>	0.330M <sup>3</sup> /S
900M <sup>2</sup>	10PA	0.2186M <sup>2</sup>	0.574M <sup>3</sup> /S
1600M <sup>2</sup>	10PA	0.3344M <sup>2</sup>	0.877M <sup>3</sup> /S

NOTA: PÉRDIDAS REGISTRADAS EN PISOS DE NO INCENDIO.

**TABLA 4-III: PÉRDIDAS ALREDEDOR DE LAS PUERTAS CERRADAS**

<b>TIPO DE PUERTA</b>	<b>TAMAÑO</b>	<b>LARGO DE GRIETA</b>	<b>ÁREA DE PERDIDA</b>
UNA HOJA EN EL MARCO, ABRIENDO HACIA LA ZONA PRESURIZADA	2M X 800MM	5.6M	0.01M <sup>2</sup>
UNA HOJA EN EL MARCO, ABRIENDO HACIA EL EXTERIOR	2M X 800MM	5.6M	0.02M <sup>2</sup>
DOBLE HOJA CON O SIN REBAJE CENTRAL	2M X 1.6M	9.2M	0.03M <sup>2</sup>
PUERTA DE LEVANTAMIENTO	2M X 2M	8.0M	0.06M <sup>2</sup>

## CAPÍTULO 5 : CRITERIOS DE DISEÑO

---

## 5.1. PLANIFICACIÓN

---

El diseño de cualquier vía de evacuación, en especial de la zona vertical de evacuación implica necesariamente una planificación previa a su construcción, que permita su utilización inmediata en caso de emergencia y sea suficiente para permitir que todos los ocupantes puedan hacer uso de esta.

Una parte muy importante son los sistemas de detección y alarma, pues el fuego o el humo pueden impedir la utilización de un determinado medio de evacuación, por lo tanto, se torna esencial la existencia de otra vía alternativa, alejada de la primera. La previsión de dos vías alternativas de evacuación, es fundamental, excepto para edificios muy pequeños.

La señalización adecuada también forma parte importante de la evacuación, una aplicación correcta de las señales de seguridad optimiza los tiempos de evacuación al otorgar la información necesaria a los ocupantes, pero una aplicación inadecuada puede causar confusiones con fatales consecuencias.(ver **ANEXOS 4.6**)

El paso de tuberías y otros conductos a través de los cerramientos constituye un punto débil para dar paso a la propagación del incendio, por ende no es recomendable pues puede reducir la eficiencia de la vía.

El primer Estudio Nacional de la Discapacidad en Chile (ENDISC), realizado por la FONADIS, el año 2004, indica que el 12.9% de los chilenos viven con discapacidad, lo que supone 2.068.072 personas. Es decir 13 de cada 100 personas o 1 de cada 8 presentan esta condición, de estos 7.2% presenta un grado leve de discapacidad; un 3.2% moderado y un 2.5% severo, por lo tanto, un 5.7%, es decir cerca de 1.000.000 de personas en Chile, requirieren del apoyo o cuidados de una tercera persona y no logran superar las barreras del entorno o lo hacen con gran dificultad. Es debido a esto que el transporte de las personas minusválidas en el interior de los edificios es una consideración muy importante, por lo que la anchura mínima de una puerta debe

permitir el ingreso de una persona en una silla de ruedas, considerando al menos 81 centímetros.

En general, la seguridad contra incendios requiere los siguientes principios, de acuerdo a la NFPA 101, *Código de Seguridad Humana*:

- 1- Un número suficiente de vías de evacuación sin obstáculos, de una capacidad adecuada, correctamente diseñadas y con los accesos correspondientes.
- 2- Protección de estas vías contra el incendio y el humo durante todo el tiempo necesario para evacuar.
- 3- Salidas alternativas y medios de traslados hacia ellas, para utilización en caso de que una de las salidas previstas quede bloqueada por el incendio.
- 4- Subdivisión en sectores para proporcionar áreas de refugio en los edificios en los cuales la evacuación es considerada como último recurso.
- 5- Protección de las aberturas verticales para limitar los efectos del fuego a un solo piso.
- 6- Sistemas de alarma para avisar a los ocupantes y llamar a la brigada de bomberos en caso de incendio.
- 7- Iluminación adecuada de las salidas y de los caminos que hay que recorrer para llegar a ellas.
- 8- Señalización de los caminos de acceso a las salidas.
- 9- Aislamiento de los equipos y de las zonas peligrosas susceptibles de producir un fuego que pueda amenazar la seguridad de las personas en las salidas.
- 10- Procedimientos de adiestramiento en la evacuación para asegurar que esta se puede efectuar en orden.
- 11- Control de los factores psicológicos que conducen al pánico.

12- Control de los acabados interiores para evitar que un incendio de desarrollo rápido pueda dejar a los ocupantes atrapados.

El código anteriormente descrito, puede ser utilizado ampliamente como guía práctica y como base para el desarrollo de leyes y normas en nuestro país.

## 5.2. APLICACIÓN DE PRESURIZACIÓN A CAJA DE ESCALERAS

---

A partir de los métodos mencionados en el capítulo anterior para controlar el movimiento de humos, el sistema más efectivo y utilizado en el extranjero es el sistema de presurización de las zonas verticales de seguridad; sistema que es requerido por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, en caso de que esta zona vertical sea interior y que no sea ventilada.

Una zona vertical de seguridad exterior, es aquella que posee un lado completamente abierto y una zona vertical de seguridad ventilada es aquella en que existe un 50% de un lado abierto, en ambos casos no es necesario aplicar presurización y el control de humo se puede limitar a un sistema de barreras adecuado, reduciendo enormemente los costos y riesgos; pero lamentablemente en Chile la mayoría de los edificios se han diseñado con zonas verticales de seguridad interiores, lo que obliga a utilizar un sistema de presurización.

Las complicaciones en la aplicación de una escalera presurizada consiste básicamente en que se generan dos ambientes uno libre de humo (interior), y otro con al menos un piso en incendio (exterior), por lo tanto necesariamente debe contener una envolvente resistente al fuego, a prueba de humo, capaz de evitar pérdidas por filtraciones y sin afectar el interior al comunicarse con el exterior al abrir puertas.

Como a nivel internacional no existe consenso en normas prescriptivas de diseño y valores para presurizar una zona vertical, en esta investigación se ha decidido utilizar las normas más relevantes en éste tema, como lo son la NFPA 92A, "Standard for

Smoke-Control Systems Utilizing Barriers and Pressure Differences” y BS EN12101-6, “Smoke and Heat Control Systems Part 6: Specification for pressure differential Systems - Kits”; ambas normas basadas en la experiencia que poseen tanto Estados Unidos como Inglaterra, en estos temas, respectivamente.

Las bases del diseño conceptual de este sistema de control de humos, consisten básicamente en definir escenarios razonablemente probables de modo de operación.

Los modos de operación de la zona vertical en caso de incendio son:

- 1.- **Detección:** En este modo se encuentran todas las puertas cerradas, el ingreso de humo es controlado por la diferencia de presión en el interior.
- 2.- **Evacuación:** Algunas o todas las puertas abiertas, cuando están las puertas abiertas el ingreso del humo es controlado por la velocidad de control.
- 3.- **Ingreso de bomberos:** Dos o menos puertas abiertas, la presión controla en puertas cerradas y la velocidad de control en aquellas abiertas.

Los diseños de presurización deben satisfacer principalmente los modos 1 y 2, para los cuales se puede establecer dos criterios distintos basados en la experiencia de otros países, tanto el criterio utilizado en Estados Unidos como en Inglaterra, son presentados a continuación.

Esta norma establece los siguientes dos criterios para el cálculo del Caudal de presurización o mejor dicho para el caudal que debe entregar el ventilador que se debe utilizar al presurizar la caja de escaleras, ambos criterios deben ser considerados en el resultado final.

- **Modo de detección (1):**

Mantiene la zona vertical de seguridad cerrada completamente, por lo tanto el sistema debe evitar el ingreso de humo a través de las holguras de las puertas o grietas que filtren aire contaminado desde el exterior, el control de ingreso del humo, en este modo, se realiza principalmente provocando una sobrepresión en el interior de la zona vertical.

Para esto la norma establece que esta presión debe ser calculada a partir de la **FÓRMULA 13**, descrita detalladamente en el capítulo anterior, y presentada nuevamente a continuación:

$$F = F_r + \frac{(WA)\Delta P}{2(W - d)}$$

( EC. 13)

Luego el caudal se obtiene de la **FÓRMULA 14**, también presentada en el capítulo anterior, consistente en:

$$Q_{\text{ventilador}} = 0,83 \cdot A_{\text{filtración}} \cdot \Delta P^{1/2}$$

( EC. 14)

- **Modo de evacuación (2):**

Mantiene la zona vertical de seguridad predispuesta a estar con cualquiera de sus puertas abiertas, por lo tanto el sistema debe evitar el ingreso de humo a través de un número máximo de puertas abiertas, este control se puede realizar provocando flujos de salida de aire de la zona vertical, con una velocidad de control que fluctúa entre los 0.5m/s y 1m/s, evitando el ingreso del humo.

La norma estadounidense establece que el caudal que genera dicha velocidad debe ser calculado a partir de las **FÓRMULAS 15 Y 16**, descritas en el capítulo anterior.

$$Q_{puerta} = V_c \cdot A_{puerta}$$

( EC. 15)

$$Q_{ventilador} = N^{\circ}_{puertas} \cdot Q_{puerta}$$

( EC. 16)

Finalmente obtengo los caudales entre los cuales debe fluctuar el ventilador.

Esta norma establece los siguientes criterios para el cálculo del Caudal de presurización de la caja de escaleras, criterios que entregan condiciones de diseño por tipo de edificios y por ende clases de sistemas de presurización a utilizar.

**TABLA 5-I: CLASES DE SISTEMAS**

<b>CLASE DE SISTEMA</b>	<b>AREA DE USO</b>
A	RESIDENCIAL, VIVIENDAS Y EDIFICIOS PROTEGIDOS POR TRES PUERTAS
B	PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO DE SHAFTS
✓ C	LOCALES COMERCIALES , CON EVACUACIÓN MASIVA
✓ D	HOTELES, HOSTALES Y EDIFICIOS DEL TIPO INSTITUCIONAL, EXCLUIDOS AQUELLOS DE CLASE A
✓ E	EDIFICIOS, CON EVACUACION POR FASE

Las clases de sistemas que han sido estudiadas en este trabajo, corresponden a: clase "C", clase "D" y clase "E". Debido a su directa relación con las zonas verticales de seguridad.

## **Definición de cada sistema**

A continuación se describen los tres sistemas de presurización utilizados en cajas escaleras, clasificados por la norma inglesa de acuerdo a las condiciones de diseño en las cuales están basados.

### **1. Sistema Clase C**

Las condiciones de diseño para este sistema están basadas en la hipótesis de que los ocupantes del edificio deberán ser evacuados al momento de activación de la alarma de incendio. Por lo tanto se asume que la escalera estará ocupada por un lapso de tiempo, para posteriormente encontrarse libre de evacuados.

Consecuentemente, la evacuación deberá ocurrir durante las etapas tempranas del desarrollo del incendio, y en el interior de la caja escalera deberá ser tolerado la filtración de una cierta cantidad de humo, el cual tendrá que ser evacuado o diluido por el flujo de aire del sistema de presurización.

Los ocupantes supuestamente evacuarán el edificio al ser alertados, de manera consciente y familiarizados con su entorno, minimizando así el tiempo de permanencia en el edificio.

### **2. Sistema Clase D**

Estos sistemas son diseñados en edificios donde los ocupantes podrían encontrarse durmiendo, por ejemplo: hoteles, hostales y edificios institucionales. El tiempo para que dichos ocupantes entren al área protegida y lleguen a la salida puede ser mayor de lo esperado al momento de accionarse la alarma de incendio, pues además los ocupantes pueden no estar familiarizados con el edificio o necesiten asistencia para encontrar la salida / espacio protegido.

### **3. Sistema Clase E**

Este sistema es usado en edificios donde las vías de escape se utilizan por medio de evacuación por fase, el escenario de evacuación por fase se considera cuando el edificio seguirá siendo ocupado por un tiempo considerable mientras el incendio va evolucionando, creando grandes presiones, además de grandes cantidades de calor, humo y gases; lo que puede variar altamente dependiendo del tipo de carga combustible involucrada.

Durante la evacuación por fase, la protección de la caja escalera deberá permanecer libre de humo para permitir una evacuación segura de los ocupantes que se encuentren en los pisos libres de incendio, hasta las últimas etapas de desarrollo de dicho incendio.

### **Requerimientos de los sistemas presentados**

- i. *Mantener una presión de 50Pa, con todas las puertas cerradas (modo 1).*

Para obtener un resultado que responda a este requerimiento de diseño se deben realizar los cálculos del caudal a partir de la **FÓRMULA 17**, considerando el área de filtración como la suma de todas las áreas de filtración en cada piso y con una diferencia de presión de 50Pa, utilizar la **TABLA 4 - III**:

$$Q_{total} = 0,83 \cdot \sum A_{filtración} \cdot \Delta P^{1/2}$$

( EC. 17)

- ii. *Mantener una velocidad de 0.75m/s tras abrir la puerta del piso en incendio (modo 2).*

Para este requerimiento de diseño se debe considerar a lo menos una puerta abierta en el piso del incendio y una puerta abierta en otro piso sin incendio, además de la puerta abierta de salida final.

Luego se deben seguir los siguientes pasos:

- Controlar la presión en todos los pisos, obteniendo el caudal total que se filtra por entre las puertas conservando una presión de 10Pa (igual a la parte (i.)), utilizar **FÓRMULA 17**→**Q<sub>1</sub>**
- En la puerta de salida, el área de filtración es el área total del vano y en esta controla la presión de 10Pa, utilizar **FÓRMULA 17**→**Q<sub>2</sub>**.
- Considerar otras perdidas por envolvente, en la cantidad de pisos donde se encuentran las proyectadas puertas abiertas, utilizar **TABLA 4 - II**→**Q<sub>3</sub>**.
- Posteriormente, calcular el caudal de aire que sale desde la caja escalera a través de la puerta abierta en el piso con incendio, manteniendo una velocidad constante de 0.75m/s, utilizar **FÓRMULA 15**→**Q<sub>4</sub>**.

Finalmente se suma todo y se obtiene el caudal total del ventilador.

$$Q_{total} = 1.5 \cdot Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

( EC. 18)

iii. *Mantener una presión de 10Pa, con la puerta final de salida abierta.*

Por último para obtener un resultado que responda a este requerimiento de diseño se deben suponer algunas puertas abiertas en piso de no incendio y puerta de salida final siempre abierta.

Para realizar los cálculos se debe considerar:

- Controlar la presión en todos los pisos, obteniendo el caudal total que se filtra por entre las puertas conservando una presión de 10Pa (igual a la parte (i.)), utilizar **FÓRMULA 17**→**Q<sub>1</sub>**
- En la puerta de salida, el área de filtración es el área total del vano y en esta controla la presión de 10Pa, utilizar **FÓRMULA 17**→**Q<sub>2</sub>**.
- Considerar otras pérdidas por envolvente, en la cantidad de pisos donde se encuentran las proyectadas puertas abiertas, utilizar **FÓRMULA 17** y **TABLA 4 - II**→**Q<sub>3</sub>**.

$$Q_{total} = 1.5 \cdot Q_1 + Q_2 + Q_3$$

( EC. 19)

Ver ejemplo presentado en el **ANEXOS 2.2** .

Una vez escogida la capacidad que debe tener el ventilador para inyectar el flujo de aire en el interior de la caja escalera, es necesario definir el tipo de inyección que se desea realizar, definiendo características tan importantes como la ubicación del ventilador, el número de inyecciones y si es una inyección equilibrada o no.

Dentro de las opciones más utilizadas para ubicar el ventilador, se encuentran las siguientes tres, ejemplos de muchas otras posibilidades:

### **1. Sistema de inyección superior – simple**

Este sistema, tal como muestra la siguiente figura, implica la utilización de un ventilador de hélice o axial, el cual puede otorgar ciertas ventajas pero a la vez también posee algunas desventajas.

Una de las principales ventajas de la utilización de ventiladores axiales o de hélice para la presurización de la caja escalera, es que tienen relativamente una plana curva de respuesta de presión con respecto a las variaciones de caudal. Por lo tanto, al abrir y cerrar las puertas, el ventilador responder rápidamente a los cambios de flujo de aire en la caja de la escalera, sin grandes fluctuaciones de presión.

Una segunda ventaja es que son menos costosos que otros tipos de ventiladores y pueden proporcionar el control adecuado de humo con un menor costo de instalación.

Pero una de las desventajas es que requieren un parabrisas en la toma de aire, porque operan a bajas presiones y son fácilmente afectados por la presión del viento sobre el edificio. El efecto más crítico se produce cuando la dirección del viento esta en dirección opuesta a la corriente de aire del ventilador, lo que reduce la presión de toma de aire y, por tanto, reduce significativamente la eficiencia del ventilador.

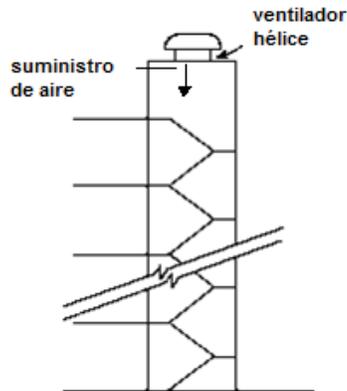


FIG. 5-1: SISTEMA DE INYECCIÓN SUPERIOR SIMPLE

Otra desventaja es que al abrir alguna de las puertas cercanas al ventilador toda la presión del aire puede perderse a través de esta, y el sistema no será capaz de mantener la presión positiva a través de las puertas ubicadas más lejos del punto de inyección, es por este motivo que no se debe aplicar la inyección simple en la parte inferior del edificio pues claramente la puerta de salida, puerta que está la mayoría del tiempo abierta, estará muy cerca del ventilador.

Actualmente se considera este sistema sólo para edificios de 3 a 8 pisos.

## 2. Sistema de Inyección superior – múltiple o inferior múltiple

El propósito de la inyección múltiple es asegurar que la pérdida de presión de aire a través de unas pocas puertas abiertas, no conduzca a la pérdida sustancial de la presurización de la escalera.

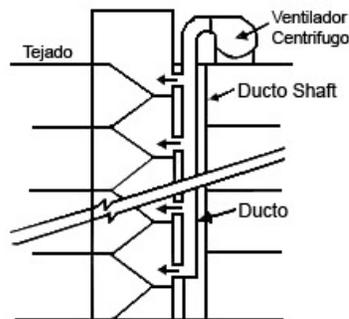


FIG. 5-2: SISTEMA DE INYECCIÓN SUPERIOR MÚLTIPLE

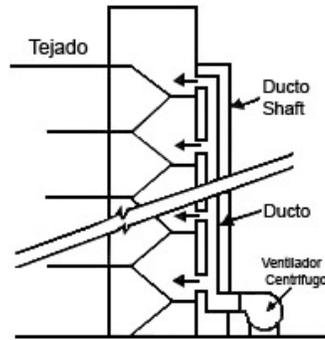


FIG. 5-3: SISTEMA DE INYECCIÓN INFERIOR MÚLTIPLE

La inyección múltiple es considerada mejor que la simple, entregando la inyección de aire cada 2 o 3 pisos como máximo.

La inyección de aire puede ser a través de un **sistema equilibrado**, logrado a través de un ducto de diámetro variable, es decir a medida que aumenta la distancia a la boca del ventilador el diámetro es menor, esto permite controlar la presión del aire y que por lo tanto ingrese el mismo caudal en cada punto de inyección.

El venteeo, templador o alivio de presión consiste en un sistema que permite la salida de cierta cantidad de aire desde un volumen de control, con el objetivo de disminuir la presión en el interior de la zona presurizada, este sistema puede ser automático, gravitacional o controlado por sensor diferencial de presión.

Al asumir en el diseño que en el instante en que se abre la puerta ubicada en el piso del incendio, un flujo de aire es expulsado desde la zona vertical, con una velocidad cercana al metro por segundo, evitando con esto el ingreso de humo en la caja escalera, se agrega este flujo de aire en el piso del incendio y por ende aumenta la presión en dicho piso, disminuyendo la diferencia de presión entre dicho piso y el interior de la caja escalera, por lo tanto, se permite el ingreso del humo a dicha zona. Para evitar este problema es que se debe considerar inevitablemente dentro del diseño de presurización el venteeo del piso en incendio al momento de abrir la puerta de la caja escalera.

El *venteeo del piso* puede ser natural o mecánico y este debe tener el área específica de la abertura o del ducto, para el caso de venteeo natural (sin extractor) :

$$\text{abertura} \rightarrow A = \frac{Q}{2.5}$$

( EC. 20)

$$\text{y ducto} \rightarrow A = \frac{Q}{2}$$

( EC. 21)

Con Q, caudal que entra a través de la puerta al piso en incendio en m<sup>3</sup>/s.

El *venteo de sobre-presión o templador* de la caja escalera, debe evitar el exceso de presión en el interior de la caja, que impida abrir con facilidad una de las puertas de escape, para esto también debe establecerse una área específica, calculada a partir de la siguiente fórmula.

$$A = \frac{Q}{(0.83 \cdot \Delta P^{1/2})}$$

( EC. 22)

Con Q, caudal a evacuar en m<sup>3</sup>/s y ΔP máxima permitida.

### 5.3. ANCHO DE ESCALERAS

---

Entre los criterios de diseño de las salidas de emergencia descritos por la NFPA, especialmente la NFPA 101, se han barajado diversos tipos de opciones para dimensionar el ancho de las vías de evacuación.

---

#### 5.3.1. *Método del caudal*

---

Este método se puede utilizar para edificios públicos, en los cuales los ocupantes se encuentren despiertos, alerta y en condiciones físicas posiblemente buena, por lo tanto la evacuación se puede llevar a cabo dentro de un periodo máximo de tiempo.

La técnica usada para efectuar el cálculo del ancho de las vías está basada en el concepto de anchura efectiva de la escalera, la cual toma en consideración tan sólo la parte de escalera que se utiliza durante el movimiento eficiente de los ocupantes, este

ancho según observado en evacuaciones prácticas y funcionales, que está aproximadamente a quince centímetros de cada lado de las paredes de la escalera.

Por lo tanto, el ancho de la vía está determinado por el ancho eficaz más treinta centímetros, y el ancho eficaz se puede obtener a partir del caudal que se desee evacuar, de acuerdo a la NFPA 101, la capacidad tradicional de una escalera es evacuar 60 personas en un minuto, en un ancho equivalente a dos unidades de paso, (cada unidad de paso equivale a 56 centímetros); esto porque de acuerdo a las investigaciones realizadas el caudal máximo en el sentido de bajada desde edificios en gran altura se produce cuando una persona ocupa entre 0.5 y 0.4 m<sup>2</sup> (4 y 5 pies<sup>2</sup>), como se indica en el **ANEXO 4.7**.

Otras capacidades se pueden estimar a partir del **ANEXOS 4.8**, presentada en el anexo donde se describe la relación entre la anchura eficaz de una escalera y las unidades de paso de la salida por persona y tiempo de caudal para tres escaleras geométricas.

---

### *5.3.2. Método de la capacidad*

---

Este método es utilizado en edificios de evacuación lenta, donde se permite situar a los ocupantes en las salidas o en zonas de refugio, pues esta basado en la teoría que supone que hay bastantes escaleras en el edificio para albergar a todos los ocupantes del mismo, sin necesidad de moverlos hacia el exterior, es por esto que ideal para establecimientos hospitalarios.

Para poder lograr los objetivos es indispensable que las escaleras dispongan de una zona segura y protegida dentro de la barrera protectora creada por los cierres.

Por último, el ancho de la vía de evacuación en este caso, se estima de acuerdo a las dimensiones requeridas para albergar en su interior la totalidad de los ocupantes,

por ende este método supone la ocupación de mucho espacio en edificios de gran altura.

---

### 5.3.3. Sistema lineal

---

Otra opción para dimensionar las vías de evacuación es aquella entregada por la última edición de la NFPA 101, donde finalmente se establece una relación directa entre el número de personas y dimensión de las vías.

En particular indica que para vías verticales el ancho de las escaleras debe ser unos 1,52 cm por persona, pero en caso de existir un sistema adecuado de rociadores se puede utilizar unos 0,76 cm por persona.

De acuerdo a esto, lo exigido en la OGUC no está tan lejano a lo propuesto como tercera opción (ver Fig.), debido a que según estudios realizados, las personas son capaces de adaptarse a los espacios, se pueden establecer valores bastante poco conservadores.

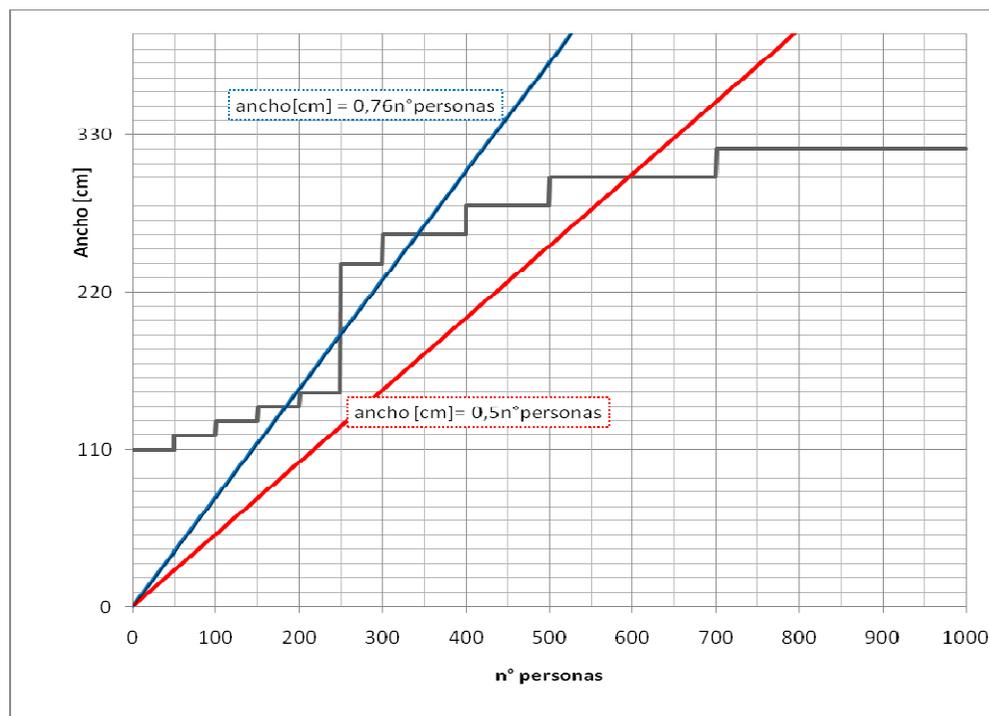


FIG. 5-4: APROXIMACIÓN DE PENDIENTES ENTRE LINEA TENDENCIA DE LA REGLAMENTACIÓN CHILENA Y LA LINEALIZACIÓN QUE RECOMIENDA LA NFPA 101.

El problema es que para poder utilizar estas relaciones, tal como especifica la norma estadounidense, debe existir sistemas de protección activa que aseguren un retardo en la propagación del incendio.

#### 5.4. COMPARTIMENTACIÓN

---

Las zonas verticales de seguridad deben estar provistas de protección contra el fuego, por lo tanto muros y puertas deben tener una resistencia al fuego adecuada, en este momento se exige muros F-120 y puertas F-60, pero es importante tener en cuenta que la tecnologías deben proponer soluciones viables para construir puertas con una mayor resistencia, asegurando una resistencia de la zona completa, F-120.

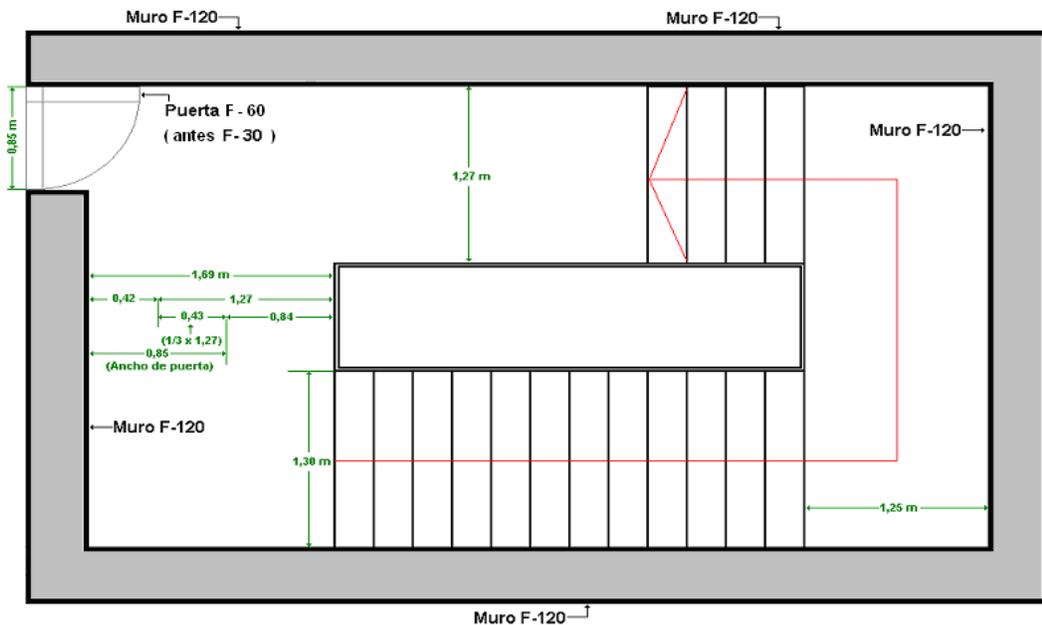


FIG. 5-5: PLANTA TIPO CAJA ESCALERA INTERIOR, PROTECCIÓN RESISTENTE AL FUEGO

Otros ejemplos de protección envolvente para caja escalera, dependiendo de su proximidad al exterior.

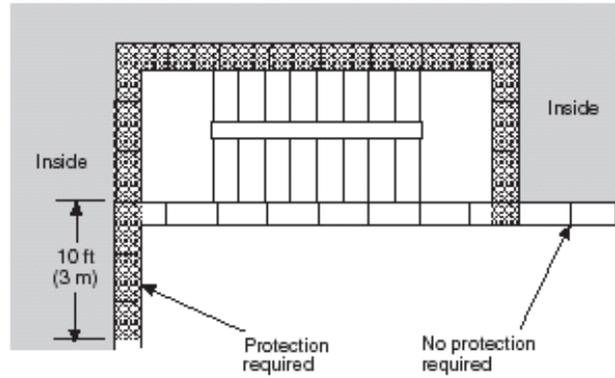


FIG. 5-6: CAJA ESCALERA CON UN MURO EXTERIOR Y PROLONGACIÓN DE UN MURO INTERIOR

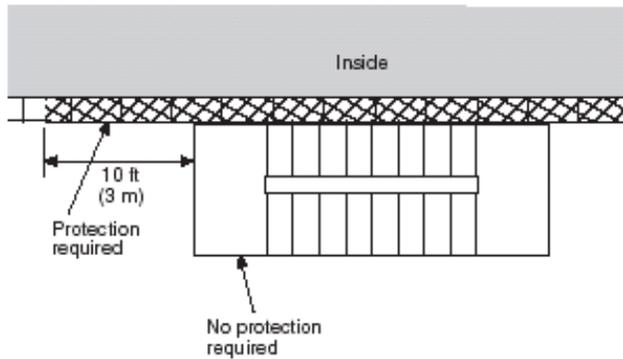


FIG. 5-7: CAJA ESCALERA CON UN MURO INTERIOR

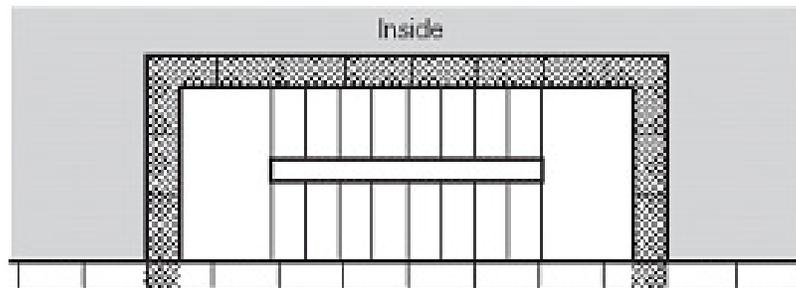


FIG. 5-8: CAJA ESCALERA CON UN MURO EXTERIOR

## 5.5. PRESENTACIÓN VISITA A: “EDIFICIO APOQUINDO 4001”

---

El edificio Apoquindo 4001, es uno de los más altos de la ciudad de Santiago, ubicado en el sector oriente de la capital, este consta de 23 pisos. Su diseño ha sido estudiado para ofrecer la más alta seguridad en caso de incendio, es por esto que este edificio consta de zonas verticales presurizadas controladas de manera automática por una central de seguridad ubicada en el subterráneo.

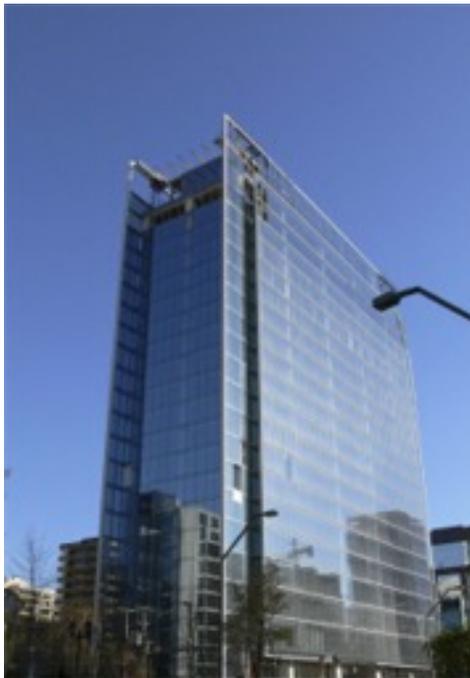


FIG. 5-9: EDIFICIO APOQUINDO 4001

---

5.5.1. *Registro fotográfico*

---

En la siguiente fotografía (FIG. 5-10) se observan los computadores que mantienen un control completo del edificio, luego se puede ver en la FIG. 5-11, el programa que controla el funcionamiento de los ventiladores y en la FIG. 5- 12, se puede apreciar el control manual de estos mismos.



FIG. 5-10: SALA DE CONTROL



FIG. 5-11: CONTROL AUTOMÁTICO PRESURIZACIÓN



FIG. 5-12: CONTROL MANUAL PRESURIZACIÓN

La FIG. 5-13, presenta la toma de aire limpio en el exterior del edificio, para ser impulsado al interior de la caja escalera por el ventilador y la FIG. 5 -14 muestra los ductos por donde transita dicho aire.



FIG. 5-13: TOMA DE AIRE



FIG. 5-14: DUCTO DE AIRE

La FIG. 5-15, presenta los ventiladores utilizados para presurizar las escaleras.



FIG. 5-15: VENTILADORES DE PRESURIZACIÓN



FIG. 5-16: INYECCIÓN DE AIRE

---

5.5.2. *Comentarios visita*

---

La visita muestra que el diseño de este edificio fue realizado con la intención de poder otorgar la mayor seguridad, aplicando toda la tecnología disponible, pero descuidando detalles que pueden debilitar el funcionamiento de los sistemas aplicados. Por ejemplo, la toma de aire se realiza demasiado próxima al edificio, por lo tanto, posiblemente en caso de incendio el aire ingresado a la zona vertical estaría contaminado.

Otra observación, es que no ha sido protegido del fuego tanto el ducto por donde circula el aire, como el lugar donde se encuentran los ventiladores.

Por último a simple vista no existe un control sobre la presión que hay en la zona vertical, pues la inyección se realiza a través de un túnel vertical conectado por una rejilla en cada piso de la caja escalera, por ende tampoco existe un alivio de presión.

## 5.6. CONSEJOS DE DISEÑO

---

- Las zonas verticales de seguridad no solo pueden ser construidas como escaleras presurizadas, se deben considerar modelos más sencillos de realizar como por ejemplo: las escaleras exteriores o ventiladas.

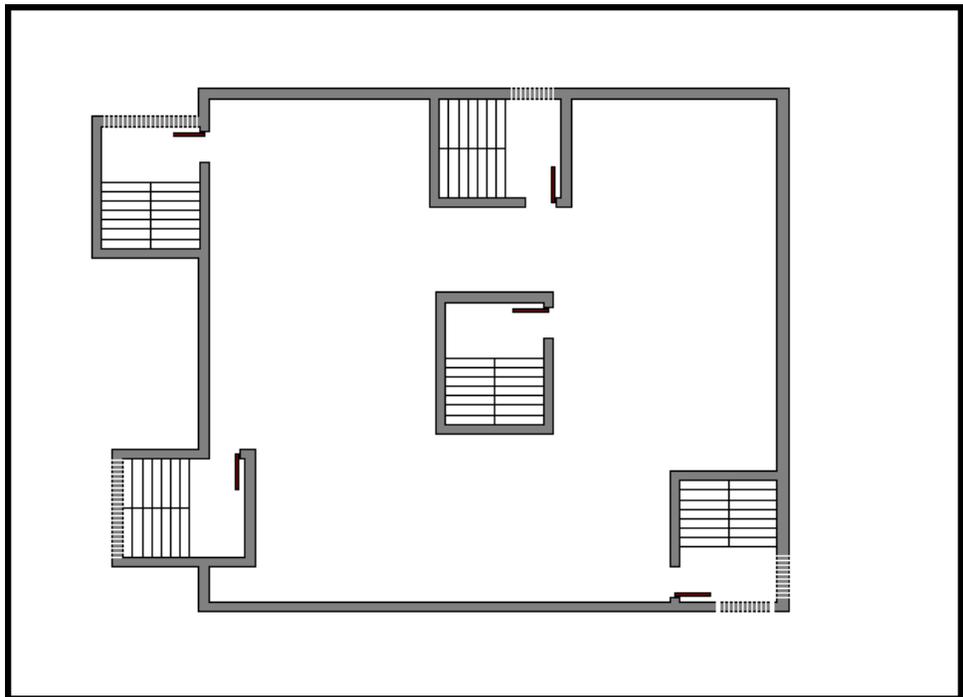


FIG.5-17: ZONAS VERTICALES VENTILADAS E INTERIORES

- No existen ventajas al separar las vías de evacuación, si estas comparten un espacio común o utilizan estructuras comunes que en caso de incendio, puedan dar como resultado la pérdida ambas vías. Por lo tanto, lo ideal es que si se desean hacer vías alternativas estas sean construidas separadas y accesibles para todos los usuarios.

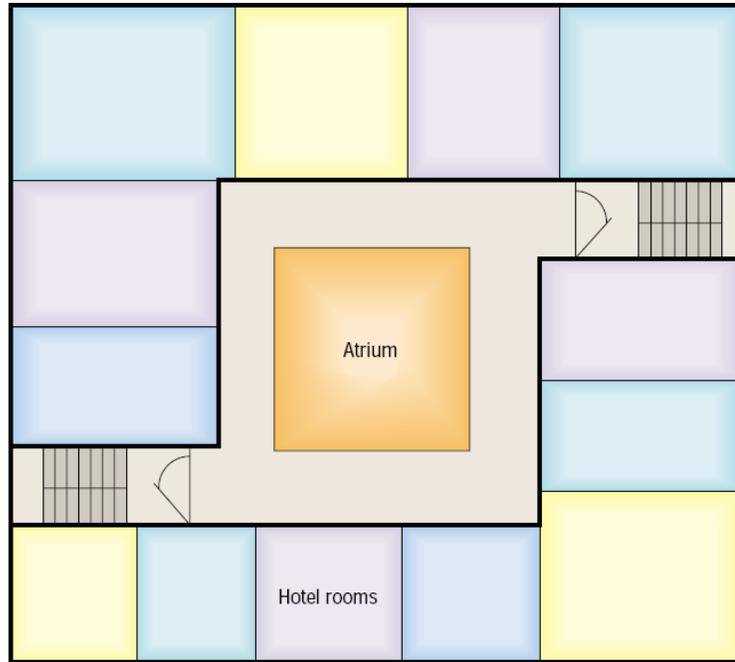


FIG. 5-18: VIAS DE EVACUACIÓN ALTERNATIVAS

- Colocar un pasamano central que divide el pasillo en secciones más estrechas puede reducir la capacidad del mismo.
- Al utilizar un sistema de presurización, el extractor de aire exterior debe estar ubicado en un lugar donde no sea afectado por el incendio, asegurando de esta forma el funcionamiento del equipo y la toma de aire limpio.



FIG. 5-19: UBICACIÓN DE VENTILADOR POCO SEGURA

- Las puertas de la caja escaleras deben abrir hacia adentro salvo la puerta de salida, además preferentemente deben tener barra de apertura antipánico y cierre automático.



FIG. 5-20: PUERTA DE EVACUACION TIPO, CON CIERRE AUTOMÁTICO Y BARRA ANTIPÁNICO

- El ventilador que inyecta aire a la zona vertical, debe estar alejado del templador o alivio de sobre presión, para evitar que se produzca un circuito corto de flujo de aire sin generar la presión necesaria en la zona vertical.
- Las aletas del templador o venteo deben abrir cuando este sea necesario, sin influir el viento exterior, de ser necesario protección, se deberá considerar la utilización de una cubierta para viento.

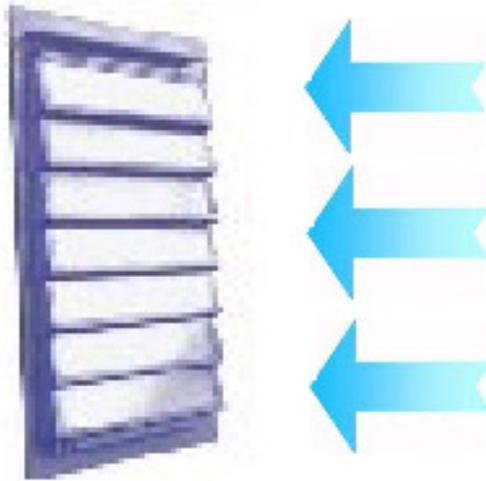


FIG. 5-21: EFECTO DEL VIENTO SOBRE TEMPLADOR

- La aplicación de equipos de alivio de sobrepresión debe incluir el aseguramiento del funcionamiento en el tiempo, evitando la deformación de las aletas .



FIG. 5-22: MAL ESTADO DE ALETAS

## CAPÍTULO 6 : CONCLUSIONES

---

## 6.1. DISCUSIONES

---

A partir de este trabajo se puede apreciar que el error comúnmente cometido con respecto al diseño de las zonas verticales, es que no existe una planificación a cabalidad de las condiciones de seguridad desde un principio, comenzando por recurrir frecuentemente a la aplicación de zonas verticales interiores, para evitar afectar la estética y la simetría del edificio, descartando modelos de zonas verticales mucho más económicos y sencillos como lo son las zonas verticales ventiladas y exteriores.

El diseño de estas zonas verticales interiores implica necesariamente la utilización de un sistema de presurización; lo que es bastante complejo. Sin embargo su aplicación y efectivo funcionamiento es bastante más difícil de lograr, es por este motivo que muchos países, entre ellos Estados Unidos, han optado por no exigir presurización, a cambio de un sistema de protección activa capaz de extinguir un incendio en sus comienzos o contenerlo de manera que se pueda realizar la extinción por medios manuales o por los servicios contra incendios.

Lamentablemente, en Chile la implementación de elementos de protección activa no se ha desarrollado lo suficiente para asegurar la total extinción del incendio, por lo tanto no se puede confiar completamente en este sistema.

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), exige que toda zona vertical de seguridad, en edificios de 7 o más pisos debe estar presurizada o ventilada, por lo tanto, si se diseña esta en el interior del edificio, la única alternativa es que esté presurizada; *¿Qué significa presurizada?*, si bien el concepto puede ser conocido por un grupo de personas, muy pocas saben cómo aplicar este sistema correctamente, e incluso a nivel mundial no existe un consenso.

Según Alejandro Ramírez, Ingeniero Civil, actual Jefe de Departamento de Prevención de Incendio de la ACHS, representante de la NFPA, en Chile, afirma que presurizar las cajas de escaleras no es un tema sencillo de abordar, y que en sus años

de experiencia le ha tocado presenciar un sin número de malas aplicaciones, debido al desconocimiento.

*¿Por qué se permiten las malas aplicaciones de los sistema de presurización en algunos casos?*, puede ser sencillamente porque no existe una especificación clara en la ordenanza de lo que tiene que exigir un fiscalizador al aceptar un sistema de presurización, por lo tanto, lo primero que se debe hacer para cambiar dicha situación es otorgar mayor detalle a la reglamentación.

Durante el desarrollo de este trabajo se entregó las herramientas básicas necesarias para modelar un sistema de presurización, calculado de manera manual, pero es necesario dejar claro que este método posee una serie de suposiciones que limitan sus resultados, por ejemplo no es considerado el efecto del viento y el efecto chimenea.

Un método más completo al estudiado está basado en software de alta capacidad resolutive, que cuentan con una gama más amplia de condiciones de diseño donde si están contemplados los efectos del viento y de la diferencia de presión producida en un incendio, uno de estos es el CONTAM, el cual es distribuido gratuitamente en internet, y consiste básicamente en un software de análisis multizona del transporte de flujo de aire y contaminantes (VER **ANEXOS 3.13**).

Por último, el diseño de la zona vertical presurizada, de acuerdo al estudio realizado, debe contener ciertos elementos claves presentes en el sistema, como muestra la siguiente figura.

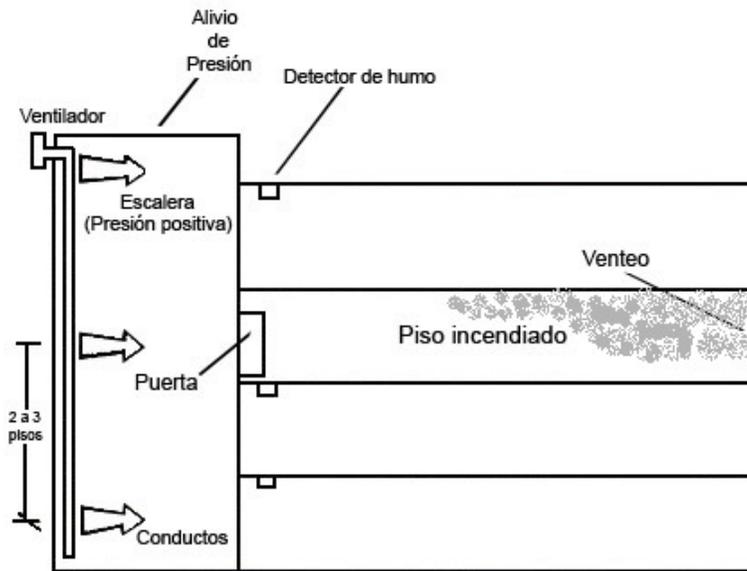


FIG. 6-1: Sistema de presurización completo

Considerando este tipo de disposiciones, es importante tomar en cuenta que las cosas se simplifican mucho más cuando hay posibilidad de control en base a detectores de presión, aperturas y cierres motorizados, varios ventiladores o extractores, motores de velocidad variable, etc.

## 6.2. CONCLUSIONES

---

De la presente investigación se desprenden una serie de conclusiones relevantes, no tan sólo para entender que es indiscutiblemente necesario crear instancias donde se analicen y estudien temas de seguridad frente a emergencias en edificios altos, sino incluso para generar profesionales capaces de analizar dichos temas, con sólidos conocimientos entregados durante su formación. De hecho si se revisa la evolución de los planteamientos sobre el desarrollo tecnológico en términos de aplicaciones de seguridad, puede observarse que en el exterior han cambiado muchas cosas, pero nuestro país ha quedado estancado producto de la carencia de especialistas.

Las conclusiones se detallan a continuación:

- Se concluye que si bien existe una exigencia respecto al diseño de las zonas verticales de seguridad, no se cuenta con un documento técnico que especifique una metodología para construir sistemas de control de humo, como presurización.
- Se analizaron diversas formas de controlar el movimiento de humo en el interior de un edificio, con lo cual se ha llegado a la conclusión que es de vital importancia que los sistemas presentados sean debidamente estudiados y aplicados correctamente para hacer efectiva su acción frente a un incendio.
- Los criterios de diseño presentados en este trabajo pueden ser muy útiles para desarrollar las bases de un sistema de evacuación vertical bien aplicado, pero si lugar a dudas debe ser analizado cada caso de manera particular.

### 6.3. RECOMENDACIONES

---

Se propone para estudios posteriores:

- Investigar acerca de modelos computacionales capaces de predecir el comportamiento de los usuarios en el interior de un edificio en caso de emergencia y su interacción con los sistemas de evacuación y control de humo, para optimizar tanto los tiempos de evacuación como la capacidad de extinción del incendio.
- Sería bastante interesante ampliar la investigación a los diseños de vías horizontales de evacuación, especialmente enfocado a edificios públicos.

## CAPÍTULO 7 : BIBLIOGRAFÍA

---

## 7.1. LISTADO BIBLIOGRÁFICO

---

1. CHILE-Ministerio de Vivienda y Urbanismo. “Ordenanza General de Urbanismo y Construcción”. Capítulo 3: De las Condiciones de Seguridad Contra Incendio.
2. RODRIGUEZ JAQUE, GABRIEL. Profesor del curso CI 57 B “Diseño de Edificios contra Incendio”- Apuntes de Cátedra. Comunicación personal, 2008.
3. Ruta: <http://www.infobox.cl>, Sistema Infobox – Información en la Emergencia, Seleccionar: Descargas, LOS INCENDIOS, Click en VER.
4. SAN MARTÍN REYES, CARLOS GONZALO. Incendio en edificios: Generación de Humo, su Control y Evacuación. Capítulo 1, 1999. Pp. 5-14.
5. ORELVIS GONZALEZ , Ensayo y Exigencias, Protección de instalación contra incendios, En: Revista BIT, Marzo 2008, Santiago – Chile.
6. ESTADOS UNIDOS - National Fire Protection Association. NFPA 92A, Standard for Smoke-Control Systems Utilizing Barriers and Pressure, edition 2006
7. PASCUAL PONS, MANUEL. Tecnología del Fuego: Fisiología del Calor, Primera Edición Abril de 1977.Tomo I, Parte I, Capítulo 17.
8. UGT- Unión General de Trabajadores, Boletín para la PRL (Prevención de Riesgos Laborales), Edición 2002.
9. INGLATERRA – British European Standards Specifications . BS EN 12101-6, Smoke and heat control systems. Specification for pressure differential systems. Kits, edition 2005.
10. RAMIREZ CALVO, ALEJANDRO, Evacuación de Edificios en caso de Incendio. En: Prevención de Riesgos N°78, ACHS, Santiago-Chile.
11. RAMIREZ CALVO, ALEJANDRO. Ingeniero Civil, Jefe Depto. Prevención y Protección contra Incendios. Entrevista personal, 2008 - 2009.
12. National Fire Protection Association (NFPA). Manual de Protección contra Incendios. Capítulo 1: El Proyecto y la Construcción de Edificios en Relación a su Seguridad contra Incendios.

- 
13. National Fire Protection Association (NFPA). Manual de Protección contra Incendios. Capítulo 3: Tráfico y Simulacros de evacuación.
- 
14. National Fire Protection Association (NFPA). Manual de Protección contra Incendios. Capítulo 7: Movimiento del Humo en el Interior de los Edificios.
- 
15. National Fire Protection Association (NFPA). Manual de Protección contra Incendios. Capítulo 8: Procedimientos de Ventilación.
- 
16. National Fire Protection Association (NFPA). Manual de Protección contra Incendios. Capítulo 19: Equipos para Movimiento de Aire.
- 
17. HREPICH AMENABAR, FELIPE. Diseño de Edificios contra Incendio Alejados de Centros Urbanos. Capítulo 2: Revisión y Discusión de Antecedentes, 2003. pp. 6-14.
-

## CAPÍTULO 8 : INDICE ALFABÉTICO

---

# INDICE ALFABÉTICO

<b>A</b>		<b>D</b>	
acceso .....	35, 37, 45, 61, 63, 70	del humo .....	25, 41, 51, 53, 55, 59, 73, 74, 83
aditivos .....	27	<b>Detección</b> .....	72, 73
aerosoles .....	20, 24	DIELÉCTRICO .....	22
aire forzado .....	42, 53	dilución.....	45, 58, 113
alarma.....	69, 70, 76		
ancho de las vías.....	38, 85	<b>E</b>	
ARCO ELÉCTRICO .....	22	edificio.....	2, 13, 17, 25, 33, 34, 35, 36, 38, 41, 42, 44, 45, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 63, 76, 77, 80, 81, 85, 100, 114
ASTM D 2843 .....	26	Efecto Chimenea .....	45, 46, 127
ASTM E 662.....	26	efecto de chimenea .....	42
ASTM E 84.....	26	EFFECTO JOULE .....	22
ASTM E 906.....	26	eléctrica.....	22, 35
		ELECTROESTÁTICA.....	22
<b>B</b>		emergencia .....	35, 36, 69, 84
barlovento .....	49, 51, 52	enlaces .....	27
barra de apertura antipánico .....	97	escaleras exteriores .....	95
barreras .....	54, 55, 60, 69, 71	escape .....	77, 84
BS EN .....	75, 106, 115	Estados Unidos.....	2, 13, 72, 73, 100
		estructuras .....	17, 19, 95
<b>C</b>		<b>Etapas incipiente</b> .....	21
caja de escalera .....	34, 36	etapas de desarrollo .....	20, 77
calor.....	19, 21, 27, 28, 29, 45, 77	evacuación.....	2, 13, 14, 15, 17, 18, 33, 37, 63, 69, 70, 76, 77, 84, 85, 107
		<b>Evacuación</b> .....	37, 72, 74, 106, 128
<b>Ch</b>		evacuaciones.....	85
Chile.....	13, 33, 38, 64, 69, 100, 106	exotérmico .....	19
		expansión y flotabilidad .....	42
<b>C</b>		extintores .....	17
comburente.....	19, 26, 53		
combustible .....	19, 20, 23, 25, 77	<b>F</b>	
combustibles .....	24, 26	flotabilidad .....	44, 45, 60
combustión.....	19, 20, 24, 26, 27, 28, 30	flujo de aire .....	49, 76, 80, 83, 98, 101
Concentración .....	58		
control de humo .....	59, 64, 103, 104		
criterios de diseño .....	14		

fosas nasales..... 25, 30  
 fuego.. 2, 13, 17, 19, 20, 25, 26, 33, 34, 35, 36, 37, 42,  
 43, 44, 45, 50, 53, 58, 59, 69, 70, 71, 113  
 fuerza.....41, 42, 44, 51, 61, 62, 114

**G**

gases.. 2, 13, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 30, 33, 34, 35,  
 42, 43, 44, 45, 58, 60, 77  
 grietas..... 59, 60, 73

**H**

hipertermia..... 28  
 humo . 2, 13, 17, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 30, 38, 40, 41,  
 42, 44, 45, 46, 48, 51, 53, 54, 55, 58, 59, 60, 63,  
 64, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 76, 77, 80, 83, 113  
 humos.....17, 33, 35, 45, 71, 72

**I**

ignición .....19, 21, 22, 24, 25  
 incendio... 2, 14, 15, 17, 18, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 28,  
 30, 33, 34, 35, 38, 41, 42, 43, 44, 46, 48, 53, 60,  
 63, 69, 70, 71, 72, 76, 77, 78, 79, 83, 84, 95, 96,  
 100, 101, 114, 122  
**incendio totalmente desarrollado** ..... 21  
 incendios ..... 13, 18, 20, 22, 33, 70, 100, 106, 119  
 INDUCCIÓN ELÉCTRICA..... 22  
 infiltración ..... 58  
 inflamación ..... 19  
**Ingreso Bomberos**..... 72  
 inyección..... 80, 81, 82, 120

**LI**

llamas ..... 19, 21, 34

**M**

masiva..... 2, 33, 64  
 materiales.....17, 18, 19, 23, 24, 26, 27

mecánica .....22, 34  
 modos .....72  
 movimiento del humo.....14, 41

**N**

NBS smoke chamber .....26  
 NFPA.15, 59, 64, 65, 70, 72, 73, 84, 85, 100, 106, 107,  
 114  
 nuclear .....22

**O**

O.G.U.C.....13, 33  
 OGUC..... 33, 38, 64, 100  
 ordenanza ..... 13, 35, 37, 100, 101  
 Ordenanza.....15  
 Ordenanza General de Urbanismo y Construcción .13,  
 33, 38, 71, 100, 106  
 oxígeno.....19, 25, 26

**P**

pirolisen .....19  
 Pirólisis .....19  
 plano neutral..... 45, 48, 55, 60  
 presión ...28, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 51, 52, 53,  
 55, 60, 61, 63, 65, 72, 73, 77, 78, 79, 80, 81, 82,  
 83, 84, 98, 101, 102, 127  
 presión arterial.....28  
 presurizadas .....14, 95  
 presurizar ..... 72, 73, 100  
 propagación ..... 41, 44, 48, 51, 53, 54, 69  
 protección activa.....17, 100  
 protección pasiva .....17  
 puerta abierta .....64, 78  
 puerta de salida ..... 78, 79, 81, 97, 114

**Q**

quemadura.....29

quemaduras..... 19, 30  
 Quemaduras ..... 29  
 química ..... 19, 22, 27

**R**

resistencia al fuego..... 54, 56, 57, 87  
 rociadores..... 60

**S**

salidas ..... 36, 70, 84, 85  
 sistemas de presurización ..... 59, 75, 76  
 sobrepresión..... 62, 73, 98  
 Society of Fire Protection Engineers ..... 62  
 sotavento..... 49, 50, 52

**T**

temperatura 19, 21, 23, 24, 26, 27, 28, 41, 42, 45, 49,  
 51, 60  
 temperaturas..... 24, 44, 45, 46  
*templador* ..... 83, 84, 98, 124  
 tóxicos ..... 25, 45, 58

**U**

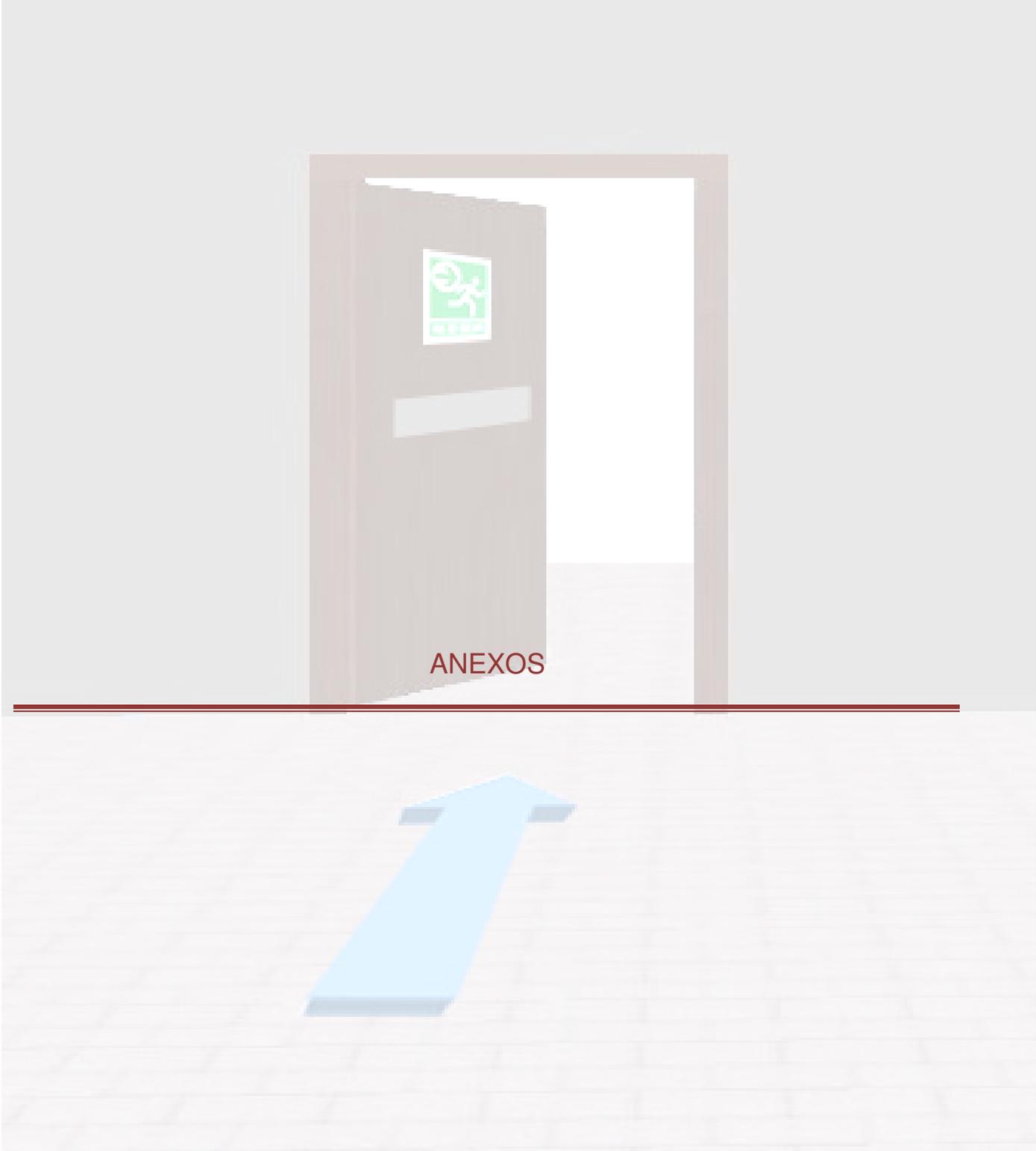
unidades de paso..... 85

**V**

vanos .....63  
 velocidad de control ..... 63, 64, 65, 72, 74  
 venteo ..... 83, 84, 98, 114  
 ventilación..... 35, 38, 41, 53, 120  
 ventiladas .....95, 100  
 ventilador ..... 63, 65, 73, 74, 78, 80, 81, 82, 98  
 ventiladores .....59, 80, 102  
 vía de evacuación..... 2, 13, 36, 69, 86  
 vías alternativas .....39, 69  
 vías de evacuaciones.....24  
 viento ..... 41, 42, 49, 50, 51, 52, 53, 80, 98, 101  
 visibilidad .....24, 25, 30  
 volumen de control.....83

**Z**

**zona de humo caliente** .....41  
**zona de humo frío** .....41  
 zona vertical...2, 18, 34, 35, 38, 41, 45, 56, 60, 63, 65,  
 69, 71, 72, 73, 74, 83, 94, 98, 100, 101  
 Zona Vertical ..... 13, 33, 34, 35  
 zonas verticales2, 9, 14, 15, 35, 36, 71, 75, 87, 90, 95,  
 100, 103



## 1. EJEMPLOS DE CÁLCULOS SEÑALADOS

### 1.1 Ejemplo #1: Dilución

- i. Cuando los bomberos apagan el fuego, puede que quieren extraer el humo rápidamente para empezar una inspección visual con el fin de comprobar si el fuego está completamente extinguido. Si el sistema de calefacción y aire acondicionado puede proporcionar una dilución de seis cambios de aire por hora, ¿Cuánto se tardaría en reducir la concentración de humo al 1 por ciento de su valor inicial?

La velocidad de dilución,  $a$ , es 0.1 cambios por minuto y  $C_0/C = 100$ .

$$t = \frac{1}{0.1} \ln 100 = 46 \text{ minutos para diluir el humo hasta el 1 por ciento de su valor inicial.}$$

Considerando que los bomberos quieren inspeccionar la zona rápidamente, ese tiempo puede resultar excesivo.

- ii. En este caso, si los bomberos quieren inspeccionar la zona en 10 minutos, ¿Qué velocidad de dilución habrá que lograr?

El tiempo dilución,  $t$ , es 10 minutos y  $C_0/C = 100$

$$a = \frac{1}{10} \ln 100 = 0.46 \text{ Cambios por minuto (28 cambios por hora).}$$

### 1.2 Ejemplo #2: Presurización

Considerar un edificio de 8 pisos, de 900 m<sup>2</sup> por piso, con 7 puertas de 2 m<sup>2</sup> (A<sub>f</sub> = 0.01 m<sup>2</sup>) y una puerta de salida doble de 1.6 m<sup>2</sup> (A<sub>f</sub> = 0.03 m<sup>2</sup>), con venteo sólo en el piso de incendio.

Además la fuerza máxima de apertura de las puertas es de 133 N y la fuerza de roce máximo 90 N. Las puertas poseen apertura anti-pánico (d= W/2).

- Diseño según NFPA:

1º. Modo 1

Datos :

$$F := 133\text{N} \quad A1 := 0.01\text{m}^2$$

$$Fr := 90\text{N} \quad A2 := 0.03\text{m}^2$$

$$W := 1\text{m}$$

$$d := \frac{W}{2} = 0.5\text{m}$$

$$\Delta P := (F - Fr) \cdot 2 \cdot \frac{(W - d)}{(W \cdot A1)} = 4.3 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$Q1 := 0.83 \frac{\text{m}^{1.5}}{\text{kg}^{0.5}} \cdot A1 \cdot \Delta P^{\frac{1}{2}} = 0.544 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q2 := 0.83 \frac{\text{m}^{1.5}}{\text{kg}^{0.5}} \cdot A2 \cdot \Delta P^{\frac{1}{2}} = 1.633 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Qv := 7 \cdot Q1 + Q2 = 5.443 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

2º. Modo 2

Datos :

$$F := 133\text{N} \quad A1 := 0.01\text{m}^2 \quad As := 1.6\text{m}^2$$

$$Fr := 90\text{N}$$

$$W := 1\text{m} \quad Vc := 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$d := \frac{W}{2} = 0.5\text{m}$$

$$\Delta P := (F - Fr) \cdot 2 \cdot \frac{(W - d)}{(W \cdot A1)} = 4.3 \times 10^3 \text{Pa}$$

$$Q1 := 0.83 \frac{\text{m}^{1.5}}{\text{kg}^{0.5}} \cdot A1 \cdot \Delta P^{\frac{1}{2}} = 0.544 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q2 := Vc \cdot As = 1.6 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Qy := 7 \cdot Q1 + Q2 = 5.41 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Diseño según BS EN:

- Modo 1 – Controla Presión

$$A1 := 0.01\text{m}^2 \quad As := 1\text{m}^2$$

$$A2 := 0.03\text{m}^2 \quad A := 2\text{m}^2$$

$$\Delta P := 50\text{Pa}$$

$$Q1 := 0.83 \frac{\text{m}^{1.5}}{\text{kg}^{0.5}} \cdot A1 \cdot \Delta P^{\frac{1}{2}} = 0.059 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q2 := 0.83 \frac{\text{m}^{1.5}}{\text{kg}^{0.5}} \cdot A2 \cdot \Delta P^{\frac{1}{2}} = 0.176 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Qv := 7 \cdot Q1 + Q2 = 0.587 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Qvt := Qv \cdot 1.5 = 0.88 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Modo 2 – Controla Velocidad

Datos :

$$A1 := 0.01\text{m}^2 \quad As := 1.6\text{m}^2$$

$$A2 := 0.03\text{m}^2 \quad A := 2\text{m}^2$$

$$\Delta P := 10\text{Pa} \quad Vc := 0.75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q1 := 0.83 \frac{\text{m}^{1.5}}{\text{kg}^{0.5}} \cdot (A1 \cdot 7 + A2) \cdot \Delta P^{\frac{1}{2}} = 0.262 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q2 := 0.83 \frac{\text{m}^{1.5}}{\text{kg}^{0.5}} \cdot A_s \cdot \Delta P^{\frac{1}{2}} = 4.2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q3 := 0.58 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q4 := A_s \cdot V_c = 1.2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_v := 1.5Q1 + Q2 + Q3 + Q4 = 6.373 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Modo 2 – Controla Presión

Datos :

$$A1 := 0.01\text{m}^2 \quad A_s := 1.6\text{m}^2$$

$$A2 := 0.03\text{m}^2 \quad A := 2\text{m}^2$$

$$\Delta P := 10\text{Pa} \quad V_c := 0.75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q1 := 0.83 \frac{\text{m}^{1.5}}{\text{kg}^{0.5}} \cdot (A1 \cdot 7 + A2) \cdot \Delta P^{\frac{1}{2}} = 0.262 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q2 := 0.83 \frac{\text{m}^{1.5}}{\text{kg}^{0.5}} \cdot A_s \cdot \Delta P^{\frac{1}{2}} = 4.2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q3 := 0.58 \cdot 2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1.16 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_v := 1.5Q1 + Q2 + Q3 = 5.753 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

2.

### 3. CONVERSIÓN DE UNIDADES BÁSICAS UTILIZADAS

Tabla #1

Unidades de Distancia			
Metros	Kilómetros	Pulgadas	Pies
1	0.001	39.37	3.28

Tabla #2

Unidades de Temperatura			
Celsius	Kelvin	Fahrenheit	Réaumur
1	270	34	0.8

Tabla #3

Unidades de Presión			
Pascal	Pulgada de Agua	Atmósfera	Pulgada de Mercurio
1	$4.01 \times 10^{-3}$	$9.87 \times 10^{-6}$	$2.95 \times 10^{-4}$

Tabla #4

Unidades de Fuerza			
Kg-Fuerza	Dynas	Newtons	Lb-Fuerza
1	980665	9.807	2.205

## 4. APOYO VISUAL

### 3.1 Clasificación de incendios y su Extinción

Incendio	Tipos de Materiales	Método de Extinción
<b>Clase A</b> 	Combustibles ordinarios como: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Madera</li> <li>• Ropa</li> <li>• Papel</li> <li>• Goma</li> <li>• Algunos Plásticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El agua es utilizada para efectos del enfriamiento.</li> </ul>
<b>Clase B</b> 	Incendios que involucran: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Líquidos Inflamables</li> <li>• Grasas</li> <li>• Gases</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efecto de sofocación por exclusión del oxígeno.</li> </ul>
<b>Clase C</b> 	Incendios que involucran: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos Eléctricos</li> <li>• Equipos Energizados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agentes extintores no conductores.</li> </ul>
<b>Clase D</b> 	Incendios que involucran metales Combustibles tales como: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Magnesio</li> <li>• Titanio</li> <li>• Zirconio</li> <li>• Sodio</li> <li>• Potasio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay disponible un agente que efectivamente controle incendios en todo tipo de metales combustibles.</li> <li>• Existen agentes extintores especiales para el control de incendios para cada uno de los metales y son identificados específicamente para ese metal.</li> </ul>

### 3.2 Ventiladores utilizados para presurización

- Ventiladores centrífugos simple aspiración



MODELO	VCL
DESCRIPCION	Rodete de álabes rectos hacia atrás, carga limitada.
ACCIONAMIENTO	Directo / indirecto
TAMAÑO	Diámetro rodete 310 a 1855 mm
CAPACIDAD	Caudal : 1000 - 270000 m3/h Presión Estática : 0 - 300 mm ca
APLICACION	Sistemas de inyección y extracción de aire, de media y alta capacidad (ventilación de cocinas, baños, cajas escala, estacionamientos, acondicionamiento de salas eléctricas, equipos de presurización y filtrado, sistemas de procesos industriales en general.

- Ventiladores centrífugos de aspiración doble



MODELO	VCL-2A
DESCRIPCION	Rodete de álabes rectos hacia atrás, carga limitada.
ACCIONAMIENTO	Indirecto
TAMAÑO	Diámetro rodete 310 a 1855 mm
CAPACIDAD	Caudal: 2000 - 490000 m3/h Presión estática: 0 - 300 mm ca
APLICACION	Sistemas de inyección y extracción de aire, de media y alta capacidad (ventilación de cocinas, baños, cajas escala, estacionamientos, acondicionamiento de salas eléctricas, equipos y cabinas de presurización y filtrado, sistemas de procesos industriales en general).

### **3.3 Templadores utilizados para Alivio de Presión**

- Templador Manual



- 
- Fabricación en fierro satinado 0.8 mm
  - Aletas paralelas en plancha de calibre 8.0 mm.
  - Perfiladas y soldadas al punto
  - Marco en perfil "U" con pestaña calibre 0.8 mm.
  - Ejes de acero Trefilado 3/8"
  - Bujes de technyl (plástico duro)
- 

- Templador Motorizado



- 
- Fabricación en fierro satinado 0.8 mm
  - Aletas paralelas en plancha de calibre N°22
  - Perfiladas y soldadas al punto
  - Marco en perfil "U" con pestaña calibre N°22
  - Ejes de acero Trefilado
  - Bujes de technyl (plástico duro)
  - Ejes de acero Trefilado de 1/2 para accionar Motor.
-

- Templador Gravitacional



- 
- Fabricación en fierro satinado 0.8 mm
  - Aletas de aluminio 0.5 mm.
  - Para enflanchar entre ductos a contramarco de 25 mm.
  - Ejes de acero trefilado
  - Bujes de technyl (plástico duro)
- 

- Templador Anti- incendio



- 
- Fabricación en fierro satinado 0.8 mm
  - Aletas paralelas en plancha de calibre 0.8 mm.
  - Perfiladas y soldadas al punto
  - Marco en perfil "U" con pestaña calibre 0.8 mm.
  - Ejes de acero Trefilado 3/8"
  - Bujes de technyl (plástico duro) y Bronce
  - Fusible 165° Fahrenheit (73.9° C)
- 



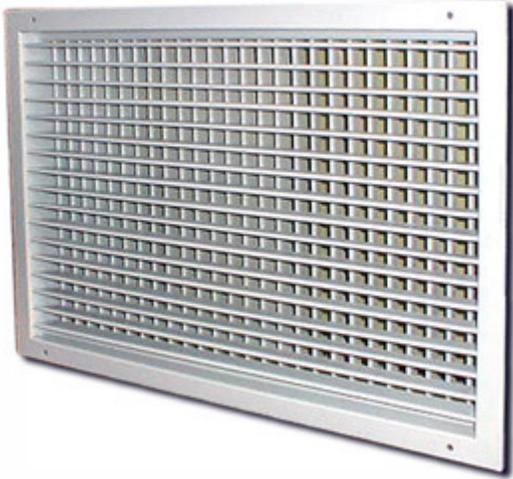
### **3.4 Inyección**

- Difusor de Inyección

- 
- Fabricación en fierro satinado 0.8 mm.
  - De 1 a 4 vías
  - Con palancas o sin palancas.
  - Templador de aletas opuestas o paralelas
  - Con pintura de terminación electrostática.
- 



- Rejilla de Inyección



- 
- Fabricación en fierro satinado 0.8 mm
  - Uní y Doble direccional
  - Con y sin palanca
  - Con templador regulador de caudal
  - De aletas paralelas o opuestas.
  - Con pintura de terminación electrostática  
O duco. (Piroxilina)
-

## 5. TABLAS Y GRÁFICOS UTILIZADOS COMO REFERENCIA

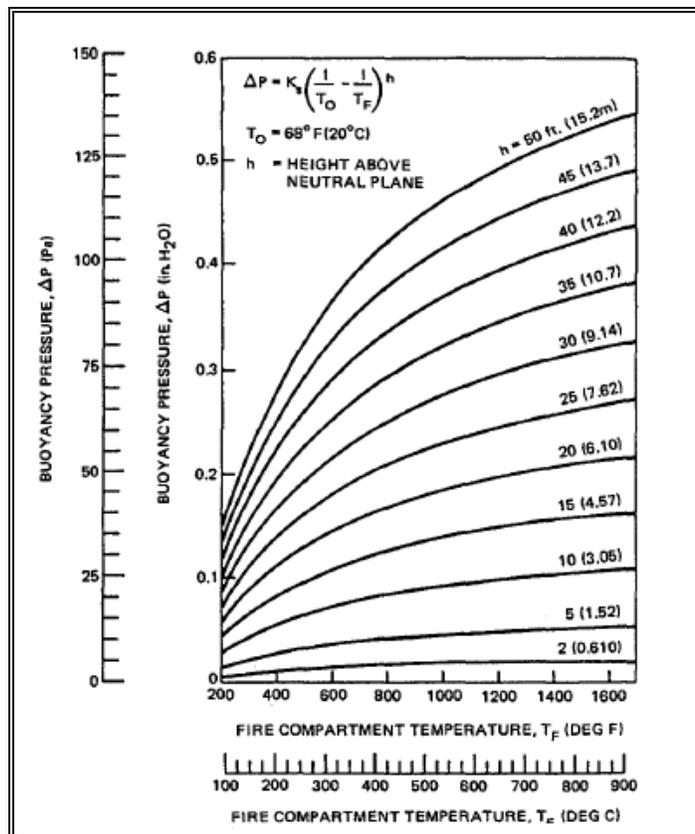
### 4.1 Identificación (I) del Tipo de Edificio, según la Ordenanza

Destino del edificio	Superficie edificada (M2)	Numero de pisos						
		1	2	3	4	5	6	7 o más
Habitacional	Cualquiera	d	d	c	c	b	a	a
Hoteles o similares	Sobre 5.000	c	b	a	a	a	a	a
	sobre 1.500 y hasta 5.000	c	b	b	b	a	a	a
	sobre 500 y hasta 1.500	c	c	b	b	a	a	a
	hasta 500	d	c	b	b	a	a	a
Oficinas	Sobre 1.500	c	c	b	b	b	a	a
	sobre 500 y hasta 1.500	c	c	c	b	b	b	a
	hasta 500	d	c	c	b	b	b	a
Museos	Sobre 1.500	c	c	b	b	b	a	a
	sobre 500 y hasta 1.500	c	c	c	b	b	b	a
	hasta 500	d	c	c	b	b	b	a
Salud(clínica, hospitales y laboratorios)	Sobre 1.000	c	b	b	a	a	a	a
	Hasta 1.000	c	c	b	b	a	a	a
Salud (Policlínicos)	Sobre 400	c	c	b	b	b	b	a
	Hasta 400	d	c	c	b	b	b	a
Restaurantes y fuentes de soda	Sobre 500	b	a	a	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	b	b	a	a	a	a
	Hasta 250	d	c	c	b	b	a	a
Locales comerciales	Sobre 500	c	b	b	a	a	a	a
	Sobre 200 y hasta 500	c	c	b	b	a	a	a
	Hasta 200	d	c	b	b	b	a	a
Bibliotecas	Sobre 1.500	b	b	a	a	a	a	a
	Sobre 500 y hasta 1.500	b	b	b	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	b	b	b	a	a	a
	Hasta 250	d	c	b	b	a	a	a
Centro de reparación automotor	Cualquiera	d	c	c	b	b	b	a
Edificios de estacionamiento	Cualquiera	d	c	c	c	b	b	a

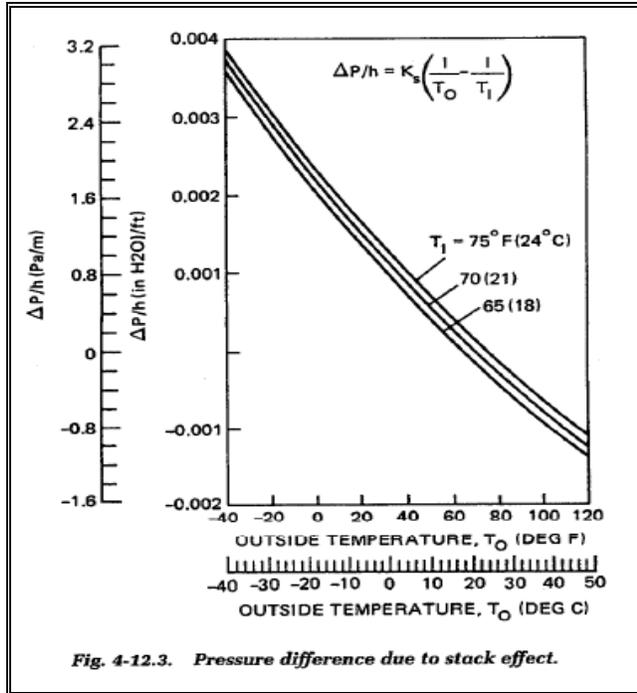
### 4.2 Identificación (II) del Tipo de Edificio, según la Ordenanza

DESTINO DEL EDIFICIO	MAXIMO DE OCUPANTES	NUMERO DE PISOS					
		1	2	3	4	5	6 ó más
Teatros y espectáculos	Sobre 1.000	b	a	a	a	a	a
	Sobre 500 y hasta 1.000	b	b	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	c	b	b	a	a
	Hasta 250	d	d	c	c	b	a
Reuniones	Sobre 1.000	b	a	a	a	a	a
	Sobre 500 y hasta 1.000	b	b	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	c	b	b	a	a
	Hasta 250	d	c	c	b	b	a
Docentes	Sobre 500	b	b	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	c	b	b	a	a
	Hasta 250	d	c	c	b	b	a

**4.3 Presión de Flotabilidad, con Temperatura Ambiente 20°C**



**4.4 Diferencia de presión debido al Efecto Chimenea**



#### 4.5 Áreas de Filtración, en Muros y Pisos

**Table A.4.6.1 Typical Leakage Areas for Walls and Floors of Commercial Buildings**

Construction Element	Tightness	Area Ratio <sup>a</sup>
Exterior building walls (includes construction cracks and cracks around windows and doors)	Tight <sup>b</sup>	$0.50 \times 10^{-4}$
	Average <sup>b</sup>	$0.17 \times 10^{-3}$
	Loose <sup>b</sup>	$0.35 \times 10^{-3}$
	Very loose <sup>b</sup>	$0.12 \times 10^{-2}$
Stairwell walls (includes construction cracks, but not cracks around windows and doors)	Tight <sup>c</sup>	$0.14 \times 10^{-4}$
	Average <sup>c</sup>	$0.11 \times 10^{-3}$
	Loose <sup>c</sup>	$0.35 \times 10^{-3}$
Elevator shaft walls (includes construction cracks, but not cracks and gaps around doors)	Tight <sup>c</sup>	$0.18 \times 10^{-3}$
	Average <sup>c</sup>	$0.84 \times 10^{-3}$
	Loose <sup>c</sup>	$0.18 \times 10^{-2}$
Floors (includes construction cracks and gaps around penetrations)	Tight <sup>d</sup>	$0.66 \times 10^{-5}$
	Average <sup>e</sup>	$0.52 \times 10^{-4}$
	Loose <sup>d</sup>	$0.17 \times 10^{-3}$

<sup>a</sup> For a wall, the area ratio is the area of the leakage through the wall divided by the total wall area. For a floor, the area ratio is the area of the leakage through the floor divided by the total area of the floor.

<sup>b</sup> Values based on measurements of Tamura and Shaw (1976); Tamura and Wilson (1966); and Shaw, Reardon, and Cheung (1993).

<sup>c</sup> Values based on measurements of Tamura and Wilson (1966); and Tamura and Shaw (1976b).

<sup>d</sup> Values extrapolated from average floor tightness based on range of tightness of other construction elements.

<sup>e</sup> Values based on measurements of Tamura and Shaw (1978).

#### 4.6 Señales para Vías de Evacuación, según Nch 2111

TABLA #1

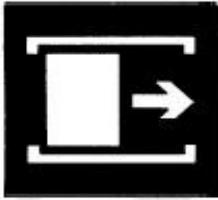
N°	Señal	Significado	Forma y colores	Comentario de aplicación
4		Salida de emergencia	<p>Señal cuadrada o rectangular</p> <p>Fondo : verde</p> <p>Simbolo : blanco</p> <p>Borde : blanco</p>	<p>Esta señal se puede utilizar para indicar todas las salidas posibles en una emergencia.</p> <p>Esta señal debe estar acompañada por una flecha direccional (señal N° 20), a menos que la señal se encuentre sobre o inmediatamente adyacente a una puerta de salida.</p> <p>La flecha puede indicar hacia la derecha o hacia la izquierda.</p>
5		No obstruir	<p>Señal circular</p> <p>Fondo : blanco</p> <p>Simbolo: negro</p> <p>Banda circular y barra cruzada: rojas</p> <p>Borde : blanco</p>	<p>Señal que se debe utilizar en aquellos lugares donde una obstrucción presenta un peligro particular (vías de escape o evacuación, accesos a equipos de lucha contra fuego, etc.).</p>
6		Puerta deslizable	<p>Señal cuadrada o rectangular</p> <p>Fondo : verde</p> <p>Simbolo: blanco</p> <p>Borde : blanco</p>	<p>Se debe utilizar en conjunto con la señal N°4, sobre cualquier puerta deslizable utilizable como salida de escape o de evacuación.</p> <p>Para indicar la dirección de apertura se debe utilizar la orientación apropiada.</p>

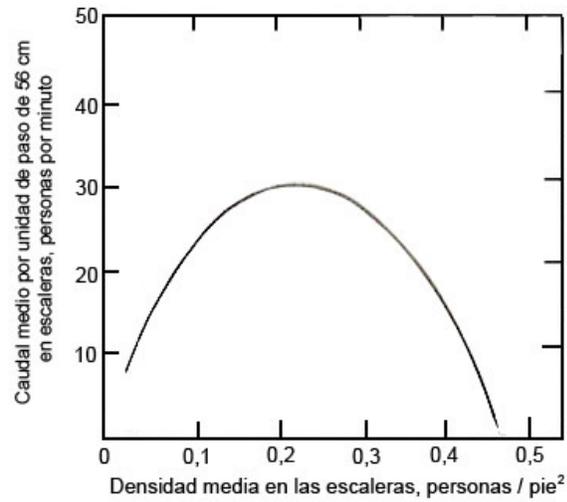
TABLA #2

N°	Señal	Significado	Forma y colores	Comentario de aplicación
7		Empujar para abrir	Señal cuadrada o rectangular Fondo : verde Símbolo: blanco Borde : blanco	Esta señal se debe ubicar sobre una puerta para indicar el sentido de apertura.
8		Tirar para abrir	Señal cuadrada o rectangular Fondo : verde Símbolo: blanco Borde : blanco	Esta señal se debe ubicar sobre una puerta para indicar el sentido de apertura.
9		Romper para tener acceso	Señal cuadrada o rectangular Fondo : verde Símbolo: blanco Borde : blanco	Esta señal se debe utilizar: a) donde es necesario romper un panel de vidrio para acceder a una llave u otro medio de apertura; c) donde es necesario romper para abrir un panel con elementos de lucha contra el fuego o crear una vía de escape o de evacuación.

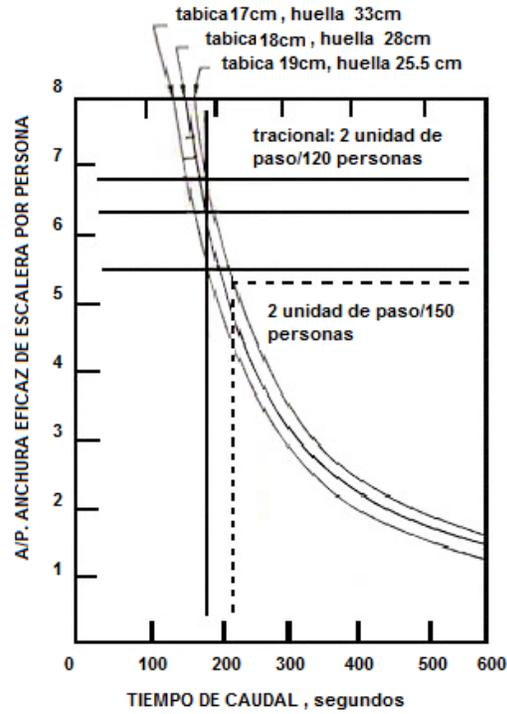
TABLA#3

N°	Señal	Significado	Forma y colores	Comentario de aplicación
20		Flecha direccional que indica una vía de escape o de evacuación	Señal cuadrada o rectangular Fondo : verde Símbolo: blanco Borde : blanco	Se debe utilizar solamente en conjunto con la señal N° 4, para indicar la dirección a seguir en el evento de una emergencia. (Esta señal se puede orientar en cualquier dirección conveniente).
21		Flecha direccional que indica la ubicación de equipos de lucha contra fuego o medios de alarma	Señal cuadrada o rectangular Fondo : rojo Símbolo: blanco Borde : blanco	Se debe utilizar solamente con las señales N°1 al N°3 y del N°10 al N°13, para indicar la ubicación de los equipos de lucha contra fuego o medios de alarma. (Esta señal se puede orientar en cualquier dirección conveniente).

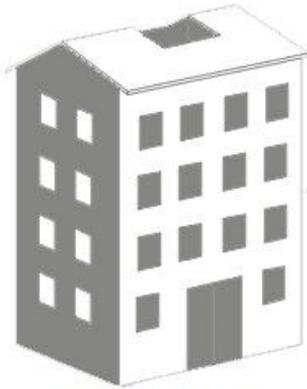
#### 4.7 Efecto de la Densidad de Población en el caudal descendiente de unas escaleras



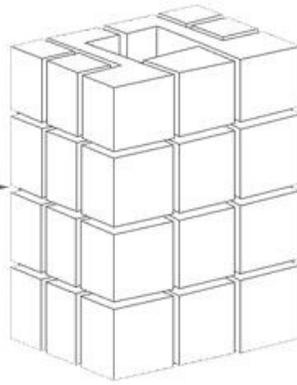
#### 4.8 Relación entre Anchura Eficaz y el Ancho de las Salidas por Persona y Tiempo de Caudal



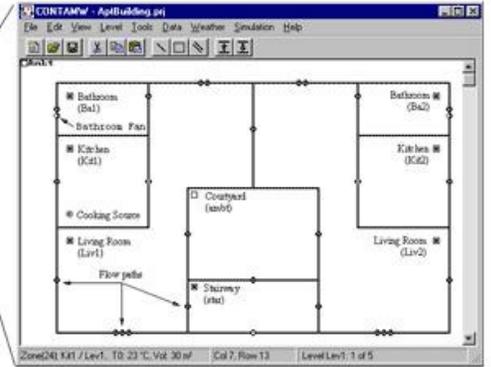
#### 4.9 Modelación en el Software CONTAM



**EDIFICIO REAL**



**EDIFICIO IDEALIZADO**



**MODELO EDIFICIO EN CONTAM**