

## **El Problema del Control de Humos en las Escaleras de Evacuación de las Edificaciones Análisis, Perspectivas y Problemática de la Normativa Peruana**

### **Sumilla**

En las edificaciones que puedan verse afectadas por un incendio, el control de humos en las escaleras de evacuación es una parte fundamental de la estrategia de protección a la vida de los ocupantes. La preocupación por otorgar un entorno seguro para los evacuantes, que los conduzca hacia el exterior de la edificación, ha estado presente de una u otra forma a lo largo de la historia en la Reglamentación de la Construcción en el País. No obstante, los avances en normativa han sido particularmente importantes con posterioridad a los incendios de Utopía y Mesa Redonda, potenciados en gran medida con el boom de la construcción que comenzó a inicios del presente milenio.

A pesar de la importancia que estos sistemas tienen en la estrategia de evacuación y de los avances en la normativa nacional, desde el punto de vista del diseño, ingeniería y ejecución, se le ha prestado poca atención y rigurosidad a las metodologías de cálculo, especificaciones de diseño y procedimientos de montaje de equipos, lo que ha conllevado a que después de muchos años en los que se vienen implementando estos sistemas, encontremos diversas deficiencias provocadas por las malas prácticas del proceso completo. La sumatoria de deficiencias que se observan desde la etapa de cálculo hasta la etapa de ejecución, han provocado una cadena de errores que terminan afectando a la seguridad de un sistema que se considera vital para los evacuantes.

En el presente artículo el autor realiza un análisis de la normativa nacional a lo largo de su historia en materia de control de humos en las escaleras de evacuación y analiza el marco teórico detrás de las normativas internacionales en contraposición con la forma como los proyectistas e instaladores nacionales han abordado el problema de diseño y ejecución. Con este marco conceptual expone luego sus experiencias sobre la problemática encontrada en los diversos proyectos diseñados, ejecutados o mantenidos y concluye el análisis con posibles soluciones a los diversos problemas encontrados.

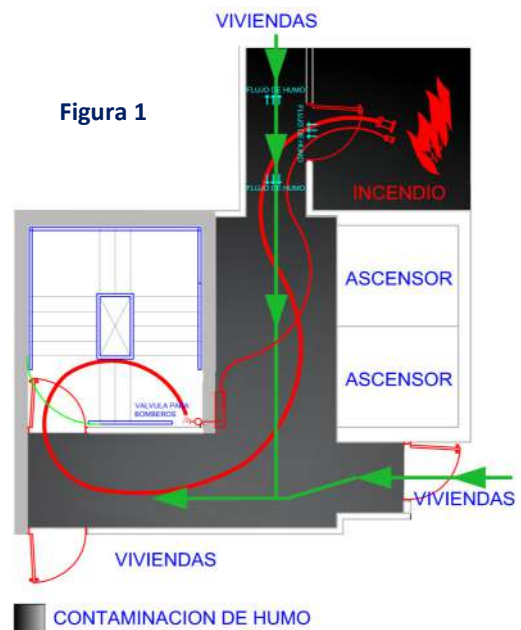
### **Perspectiva Histórica de la Normativa Nacional en Protección de Escaleras**

Una Reglamentación específica en seguridad contra incendios para las edificaciones, nunca formó parte de las normativas nacionales de construcción, hasta el año 1970 cuando el Ministerio de Vivienda y Construcción introduce el título V: "Requisitos de Seguridad y Previsión de Siniestros". Específicamente este reglamento incorpora la exigencia de proveer muros con resistencia al fuego a las escaleras y corredores de escape, exigiendo además la implementación de un vestíbulo previo en cada piso, en edificios de más de cuatro pisos, por donde tengan que pasar forzosamente los ocupantes con el fin de entrar a la escalera y evacuar una edificación. Asimismo introduce el concepto de separar de forma continua la caja de escaleras y el vestíbulo previo del resto de la edificación, mediante la introducción de dos puertas corta fuego de cierre automático ubicadas en el ingreso y salida del vestíbulo. El vestíbulo debía contar con un muro abierto al exterior de la edificación con el fin de ventilarlo naturalmente, impidiendo de esta forma la eventual contaminación de humo y gases tóxicos producto de la combustión.

A la vista de las edificaciones construidas en las tres décadas posteriores a la promulgación de esta reglamentación, se puede observar que jamás entró en rigor este requisito, prueba de ello es la infinidad de edificaciones con escaleras integradas que se observan en todas las edificaciones construidas en dicho

periodo. No fue sino hasta inicios de la década del 2000, a raíz del nombramiento del Cuerpo de Bomberos del Perú como autoridad competente en materia de revisión de proyectos municipales, y con mayor rigor a raíz de los incendios de utopía y mesa redonda en que se comenzaron a ver las primeras construcciones realizadas con el esquema de vestíbulo previo ventilado, apareciendo la necesidad de implementar puertas corta fuego y vestíbulos ventilados naturalmente. Sin embargo, hubo una etapa de transición en la que muchos proyectos se aprobaron y ejecutaron con una variabilidad de casos ocasionada por la falta de entendimiento de los principios expuestos en la normativa. Pasaremos a explicar todas las variantes que se presentaron en aquella época.

La primera de las variantes era simplemente obviar el vestíbulo previo y dotar a la escalera con una puerta corta fuego que incluso invadía el radio de giro de evacuación, tema que expresamente no estaba prohibido por la normativa de aquella época. El principio detrás de este planteamiento era evidentemente ahorrarse el espacio no vendible que provocaba tener un vestíbulo previo y su impacto en los metros cuadrados vendibles de la edificación. Hubo mucha presión en aquella época por no implementar vestíbulos previos como un elemento de seguridad y protección de los evacuantes, producto de esta presión muchos proyectos se ejecutaron como muestra la Figura 1. Esto traía consigo que la estrategia de protección de los evacuantes estuviera concentrada en la estabilidad térmica y resistencia al fuego y humo de un sólo elemento, constituido por la puerta corta fuego que protegía la escalera, siendo ésta la antesala de lo que se constituiría luego en el concepto de presurizar la escalera, sin que en la reglamentación de aquella época estuviera permitido o prohibido.



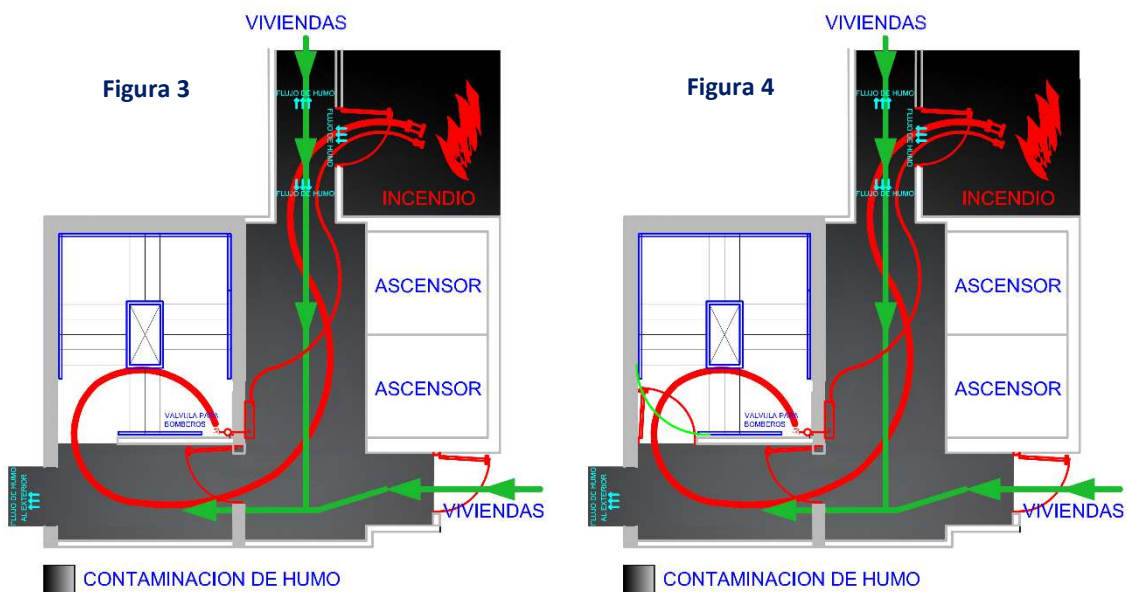
Otro elemento que nunca fue exigido expresamente por la normativa (incluso ahora), pero caló en el imaginario de los proyectistas como consecuencia de la exigencia de los bomberos, era que el gabinete contra incendios para uso de los ocupantes esté ubicado fuera de la escalera y la válvula para uso de bomberos dentro de ella, estableciéndose intrínsecamente la necesidad de contar con dos sistemas de conexiones de ataque independientes, los Clase II para uso de los ocupantes y los Clase I para uso de los bomberos. Este concepto nacía de la necesidad de proteger a los bomberos durante sus maniobras de ataque al incendio desde la caja de escaleras y a la vez dotar a los ocupantes de un medio de extinción de incendios en caso éstos no hayan accedido a la escalera de evacuación. Si bien hasta el día de hoy se siguen implementando las redes de válvulas y gabinetes bajo esta perspectiva, no se entiende cuál es la razón para que no se implementen sistemas Clase III, es decir ambas válvulas dentro de la escalera, tal cual muestra la Figura 2 (Edificio Empire State, Nueva York USA).

Figura 2



Otro elemento que adolecía este planteamiento, era la apertura de la puerta corta fuego para desplegar la manguera contra incendios de los bomberos, lo cual dejaría a la escalera a merced del traspaso de humo y gases tóxicos producto del fuego, situación que fuera corregida en versiones normativas posteriores.

Otras variantes de este modelo se muestran en las Figuras 3 y 4, entre ellas, dotar a la instalación con un vestíbulo previo ventilado naturalmente, pero con una sola puerta corta fuego (Figura 3) o dotarlo con un vestíbulo previo ventilado naturalmente y dos puertas corta fuego (Figura 4). El argumento de quienes implementaron los edificios como la Figura 3 se basaba en el supuesto de que las corrientes de aire que provocarían un amplio vano hacia el exterior de la edificación, impedirían que la escalera se contaminara de humo, situación que desde nuestro punto de vista puede tener cierto asidero si se cumplen ciertos supuestos, como la época del año en la que sucede el incendio, la posición del edificio con respecto a la dirección del viento, la severidad del riesgo o del incendio, los contenidos, entre otros factores que no son materia de análisis en este artículo. Finalmente hubieron proyectos que se implementaron tal cual la normativa lo había previsto, es decir con dos puertas corta fuego y un vestíbulo ventilado naturalmente (Figura 4).



En el año 2006 aparece el “Reglamento Nacional de Edificaciones”, el mismo que introduce mejoras en la reglamentación de seguridad en las edificaciones y establece una diferenciación entre escaleras integradas y de evacuación, definiéndose como escalera de evacuación a aquella que es ventilada con un vestíbulo previo o es presurizada (entre otras opciones poco aplicables). Las escaleras integradas quedaban reducidas a edificaciones de menos de 6 a 4 niveles dependiendo del uso y se prohibía el uso de escaleras presurizadas para edificaciones de uso residencial. El concepto de ventilación natural del vestíbulo previo, puertas corta fuego y/o corta humo a la entrada y salida del vestíbulo, entre otros requisitos permanecían invariables. En cuanto a los sistemas de presurización de escaleras se introducen los primeros requerimientos de diseño, sin embargo no se introduce ningún tipo de exigencia en

normativa de cálculo y/o parámetros específicos de diseño, dejándose abierta la posibilidad a que el proyectista establezca bajo criterios propios, el método de cálculo, equipamiento y estrategia de diseño.

En el año 2009 se introducen importantes cambios en los vestíbulos previos, entre ellos los más importantes fueron: La práctica prohibición de los vestíbulos previos ventilados naturalmente, la introducción de los vestíbulos ventilados mecánicamente a través de un sistema de extracción de aire y la introducción de pases de manguera frangibles que permitan no contaminar la caja de escaleras cuando las mangueras de los bomberos son extendidas. La normativa no establecía claramente cómo se activaba este sistema, pero muchos supusieron que se realizaba a través del sistema de detección y alarma de incendios y/o el sistema de extinción de incendios, por otro lado muchos de ellos implementaron el sistema pero no lo automatizaron. Las construcciones realizadas con esta nueva normativa preveían un sistema centralizado de extracción de humos conectado a los vestíbulos de cada piso a través de rejillas de extracción. Muchas construcciones realizadas con esta nueva normativa contaban únicamente con un sistema de extracción, la preocupación de quienes tuvimos que implementar este tipo de sistema fue que es contraproducente extraer aire contaminado de humo y gases tóxicos, sin que haya a la par un ingreso de aire limpio.

No fue sino hasta el año 2014 cuando se amplían las indicaciones y se establecen nuevas regulaciones, entre ellas se incorpora un sistema de inyección de aire que acompañe al sistema de extracción, la prohibición del uso de equipos de extracción e inyección centralizados, exigiéndose que se instalen equipos de ventilación en todos los pisos de manera individual, la interconexión del sistema de ventilación mecánica de vestíbulos con el sistema de detección y alarma de incendios, la formación de una trampa de humos a nivel del techo del vestíbulo con una altura no menor a 50 cms. y la presurización de la escalera a través de un sistema que provea una sobre presión no menor a 0.10 in wg. equipado con un dámper de alivio de presión de funcionamiento mecánico, con capacidad suficiente para descargar al menos 2500 CFM. Los parámetros de cálculo exigidos para el sistema de intercambio de aire fueron como mínimo 60 cambios por hora para los equipos de inyección y 90 cambios por hora para los equipos de extracción. Asimismo si el valor del caudal de inyección se incrementara, debía incrementarse el de extracción en al menos 150%.

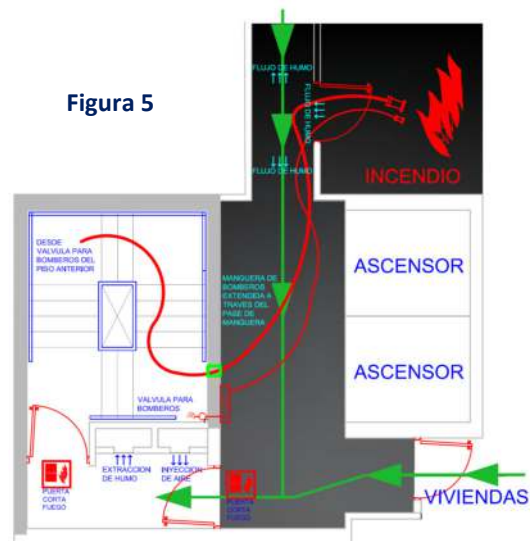
### **Principios de funcionamiento de las escaleras equipadas con vestíbulos previos ventilados**

Como se puede apreciar, los conceptos de ventilación de los vestíbulos previos han pasado por un largo proceso desde que fueron incorporados en la reglamentación nacional hace 50 años. Un vestíbulo previo de acuerdo a la última versión normativa se aplica únicamente a edificaciones multifamiliares de 6 o más pisos y queda definido como un pequeño recinto ubicado entre la escalera de evacuación y el hall de distribución de los departamentos, cuyo objetivo es aportar una mayor garantía de compartimentación en caso de incendios. El vestíbulo previo definido por la normativa vigente debe estar implementado con lo siguiente:

- Un recinto construido con materiales resistentes al fuego.
- Un ventilador por piso para la inyección de aire limpio proveniente del exterior.
- Un ventilador por piso para la extracción de humo proveniente del interior.
- Un ventilador centralizado que inyecte aire a la escalera manteniendo una presión positiva dentro ella.

- Una señal de activación automática del sistema de ventilación, procedente del sistema de detección y alarma de incendios del edificio.
- Un sistema de energía alterna emergente (léase grupo electrógeno de emergencia) para el sistema de ventilación.
- Dos puertas corta fuego al ingreso y salida del vestíbulo.
- Uno o dos pases para manguera contra incendios.

El concepto de este sistema es evitar que la escalera de evacuación se contamine de humo cuando las puertas corta fuego son abiertas por los evacuantes. Al ingresar los evacuantes por la puerta de ingreso al vestíbulo, el humo procedente de un incendio ingresa al recinto contaminándolo, en este momento un extractor permite que el humo sea extraído y a la vez un inyector suministra aire limpio en reemplazo, de esta manera se produce un intercambio entre humo proveniente del incendio y aire limpio proveniente del exterior de la edificación, lo cual evita que el humo y los gases tóxicos ingresen a la escalera de evacuación. En caso este sistema falle o se quede alguna de las puertas o ambas abiertas, el sistema de presurización de la escalera impide que se contamine la escalera de evacuación.



Cuando los bomberos ingresan a extinguir un incendio podrían aperturar las puertas con el fin de extender la manguera contra incendios, contaminando la escalera de humo y gases tóxicos. Para evitar esto, en algún lugar señalado debe haber un pequeño pase de manguera tapiado con un material fácilmente frangible que permita extender la manguera por ese pase, garantizando la compartimentación y hermeticidad de este espacio vital. La Figura 5 muestra todos estos conceptos.

### La Normativa internacional de escaleras equipadas con vestíbulos previos ventilados

La normativa en la cual se basa el requerimiento de vestíbulos ventilados mecánicamente procede de la norma NFPA 101, dicha norma lo cataloga como un “encerramiento a prueba de humo” (smokeproof enclosure) diseñado para limitar los productos de la combustión producidos por un fuego. Sin embargo para la norma NFPA 101, un encerramiento a prueba de humo puede ser ventilado naturalmente, ventilado mecánicamente o presurizado, dando amplias opciones al arquitecto y proyectistas.

Para el caso de los vestíbulos ventilados naturalmente, la norma NFPA 101 requiere de un vano de 1.5 m<sup>2</sup> de área mínima abierta que desfogue a un patio exterior de un ancho no menor de 6 metros. En contraposición la normativa nacional ha prácticamente prohibido esta opción, ya que lo que se pide como requisito es que no exista algún vano cercano en un radio de 6 m (Ver Figura 6), situación que lo hace extremada e innecesariamente exigente. La norma NFPA 101 en cambio no exige ningún tipo de requerimiento de protección de aberturas, cuando el ángulo entre el vano no protegido de donde pueda proceder el fuego y el vano que ventila el vestíbulo tenga un ángulo de 180° o más (Ver Figura 7). Cuando

el ángulo es menor, por ejemplo 90°, se requiere que la distancia horizontal entre los vanos desprotegidos y el vestíbulo sea de 3 metros de longitud a ambos lados. En efecto es más que evidente que las llamas y los demás productos de la combustión se comportan de una manera tal que no se propagan siguiendo una trayectoria que pueda afectar un vestíbulo ventilado, cuando el ángulo entre los vanos es 180° o más.

Para el caso de los vestíbulos presurizados, la norma NFPA 101 requiere una presión diferencial de no



menos de 0.05 in wg en edificios equipados con rociadores y de 0.10 in wg en edificios no equipados con rociadores. La normativa nacional ha prohibido presurizar escaleras pero expresamente no prohíbe presurizar vestíbulos, sin embargo es evidente que si a alguien se le ocurre proponer presurizar un vestíbulo, la autoridad competente no lo permitiría aduciendo que la presurización está prohibida para edificaciones residenciales.

La normativa nacional ha descartado las dos opciones anteriores y sólo permite la ventilación mecánica. Para el caso de los vestíbulos ventilados mecánicamente, el RNE aplica los mismos conceptos establecidos por la norma NFPA 101 con una única diferencia, el RNE exige que los equipos para la inyección y extracción de aire deberán ubicarse en cada nivel de la escalera, no siendo permitida la instalación de equipos centralizados (un solo inyector o extractor para toda la escalera), tal cual lo requiere la NFPA 101, esta única diferencia es la causa de muchos problemas encontrados durante la etapa de diseño, instalación y pruebas, como demostraremos más adelante.

Desde nuestro punto de vista las mayores exigencias de la normativa nacional no tienen un sustento claro, más aún si la eliminación de la ventilación natural de los vestíbulos y la exigencia de implementación de equipos de extracción e inyección individuales, conlleva a que aparezcan muchas deficiencias y limitaciones que analizaremos posteriormente.

### La problemática de la ventilación de los vestíbulos previos antes de su implementación

Diseñar un sistema de ventilación de vestíbulos conforme a lo especificado por la normativa nacional no es una tarea fácil y tiene bastantes problemáticas que expondremos a continuación.

Un vestíbulo previo típicamente tiene un área que oscila entre 3 m<sup>2</sup> a 6 m<sup>2</sup>, y una altura promedio de 2.50 m, por lo que para lograr el número de renovaciones por hora que requiere el reglamento se necesitan inyectores de 250 CFM a 550 CFM y extractores de 400 CFM a 800 CFM. Estos caudales se logran con equipos bastante pequeños del tipo helicoidales como los que se muestran en las Figuras 8 y 9. Estos equipos tienen la particularidad de tener presiones muy bajas que difícilmente superan 0.3 in wg (ver Figura 10). Esto provoca que sean bastante sensibles a la resistencia ejercida por la contrapresión o por la caída de presión. En edificaciones que superan los 10 pisos es virtualmente imposible depender de ellos como medio de extracción de humos e inyección de aire, a menos que se prevean ductos demasiado grandes, no obstante en edificaciones de más altura, el tamaño del ducto comienza a volverse una variable muy crítica.

Pasaremos a evaluar el siguiente caso real como referencia, aclaramos que este caso representa uno de varios que hemos evaluado obteniendo los mismos resultados y conclusiones, pero por temas de extensión del presente informe usaremos sólo éste como referencia.

Un vestíbulo previo diseñado en una edificación de 16 pisos, requiere de un inyector axial por piso de 470 CFM @ 0.2 in wg y un extractor axial por piso de 705 CFM @ 0.2 in wg. Las dimensiones de los elementos que componen este vestíbulo se muestran en la Figura 11.

Los extractores e inyectores que fueron instalados en esta aplicación son los modelos indicados en las curvas 30 y 35 de la Figura 10, con rendimientos de 470 CFM @ 0.2 in wg y 705 CFM @ 0.2 in wg. Como se puede observar de los resultados, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Durante las pruebas de funcionamiento se encontraron resultados por debajo de los esperados en la mayoría de pisos.
- En los pisos inferiores los inyectores prácticamente no giraban, generando corrientes de aire muy por debajo de su caudal nominal.
- En los pisos inferiores los extractores lograban girar a mayor velocidad que los inyectores, pero con rendimientos muy por debajo de su caudal nominal.



Figura 8



Figura 9

Figura 10

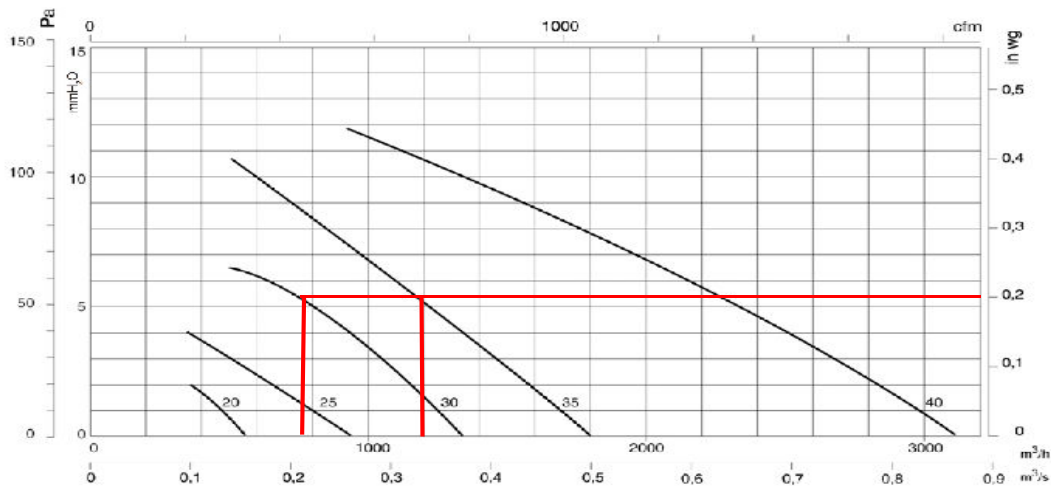
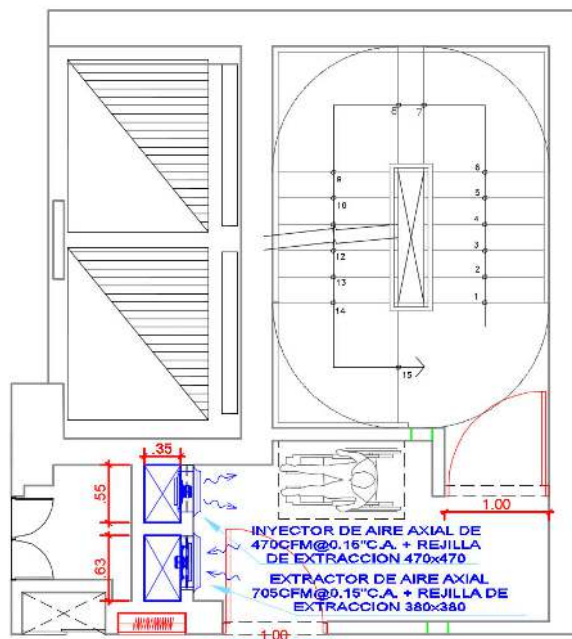


Figura 11

- Existe una tendencia al incremento del caudal con respecto a la altura del edificio.
- El caudal de los extractores e inyectores sufre incrementos y caídas cíclicas con patrones crecientes con respecto a la altura del edificio
- Los inyectores alcanzan su rendimiento previsto a partir del piso 14, mientras que los extractores alcanzan su rendimiento previsto recién en el piso 17 (azotea).
- Se hicieron pruebas individuales de los equipos y en todos ellos se alcanzaron los rendimientos especificados por el fabricante.
- Los resultados de estas pruebas se pueden observar en las Figuras 12 y 13.



Las conclusiones de este análisis son las siguientes:

- Los equipos especificados tiene una presión estática muy baja para la aplicación.
- Típicamente los ventiladores axiales trabajan con presiones estáticas por debajo de 0.3 in wg.
- La sección del ducto tiene un alto impacto en los resultados.
- Un ducto de mayor sección hubiera tenido un alto impacto en el diseño de los espacios previstos para las áreas comunes del edificio.



Resultados de Pruebas (Inyectores de Aire)

IDENTIFICACION DE REJILLA (Ubicación o Código)	VELOCIDADES ENCONTRADAS				VELOCIDAD PROMEDIO	VELOCIDAD PROMEDIO	AREA DE REJILLA	CAUDAL ENCONTRADO	CAUDAL PROYECTO
	m/s				m/s	ft/m	pies <sup>2</sup>	pies <sup>3</sup> /minuto	pies <sup>3</sup> /minuto
	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4				CFM	CFM
PISO 2	0.6	0.4	0	0	0.25	49.21	1.55	76.28	470.00
PISO 3	0.7	0.2	0.6	0.4	0.48	93.50	1.55	144.93	470.00
PISO 4	2.6	2.7	2.3	2.1	2.43	477.36	1.55	739.91	470.00
PISO 5	3	1.1	0.9	1	1.50	295.28	1.55	457.68	470.00
PISO 6	3.2	2.1	1	1.7	2.00	393.70	1.55	610.24	470.00
PISO 7	0.6	0.1	0	0	0.18	34.45	1.55	53.40	470.00
PISO 8	1.7	1.5	0.9	3.2	1.83	359.25	1.55	556.84	470.00
PISO 9	0.4	0.6	0.6	0.6	0.55	108.27	1.55	167.82	470.00
PISO 10	3	2.2	1.1	3	2.33	457.68	1.55	709.40	470.00
PISO 11	1.1	0.1	0.3	0.3	0.45	88.58	1.55	137.30	470.00
PISO 12	0.6	0.6	1.3	1.4	0.98	191.93	1.55	297.49	470.00
PISO 13	1.2	1.1	1.1	2.4	1.45	285.43	1.55	442.42	470.00
PISO 14	4.2	2.4	1.6	3.1	2.83	556.10	1.55	861.96	470.00
PISO 15	1	1.6	1.4	3.3	1.83	359.25	1.55	556.84	470.00
PISO 16	2.5	3.3	1.3	1.8	2.23	437.99	1.55	678.89	470.00
AZOTEA	3.5	2.4	1.9	3.3	2.78	546.26	1.55	846.70	470.00

Figura 12



Resultados de Pruebas (Extractores de Aire)

IDENTIFICACION DE REJILLA (Ubicación o Código)	VELOCIDADES ENCONTRADAS				VELOCIDAD PROMEDIO	VELOCIDAD PROMEDIO	AREA DE REJILLA	CAUDAL ENCONTRADO	CAUDAL PROYECTO
	m/s				m/s	ft/m	pies <sup>2</sup>	pies <sup>3</sup> /minuto	pies <sup>3</sup> /minuto
	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4				CFM	CFM
PISO 2	0.4	1.3	0.5	0.2	0.60	118.11	2.10	248.54	705.00
PISO 3	0.2	0.6	0.3	0.8	0.48	93.50	2.10	196.76	705.00
PISO 4	0.5	0.2	2	2.2	1.23	241.14	2.10	507.45	705.00
PISO 5	0.1	0.2	0.7	1.9	0.73	142.72	2.10	300.32	705.00
PISO 6	0.4	0.3	1.6	1.6	0.98	191.93	2.10	403.89	705.00
PISO 7	2.5	1.1	0.4	2.1	1.53	300.20	2.10	631.72	705.00
PISO 8	0.5	2	1.1	0.9	1.13	221.46	2.10	466.02	705.00
PISO 9	0.5	1.1	0.4	2.1	1.03	201.77	2.10	424.60	705.00
PISO 10	0.5	1.1	0.4	1.4	0.85	167.32	2.10	352.10	705.00
PISO 11	2	0.8	1.3	1.4	1.38	270.67	2.10	569.58	705.00
PISO 12	0.8	0.4	1	0.4	0.65	127.95	2.10	269.26	705.00
PISO 13	0.8	1.8	0.8	0.4	0.95	187.01	2.10	393.53	705.00
PISO 14	0.1	0.7	1.6	1.9	1.08	211.61	2.10	445.31	705.00
PISO 15	0.6	1.7	1.7	1	1.25	246.06	2.10	517.80	705.00
PISO 16	1.4	1.1	2	0.9	1.35	265.75	2.10	559.23	705.00
AZOTEA	0.9	1	2.7	2.7	1.83	359.25	2.10	755.99	705.00

**Figura 13**

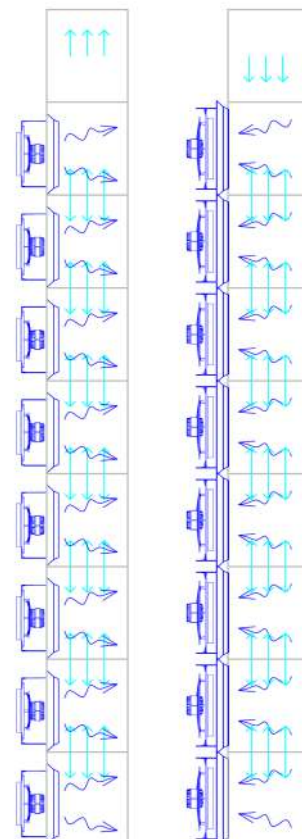


La explicación de estos resultados parece estar relacionada con las fuerzas de empuje generadas por los ventiladores contra las paredes del ducto y por el rozamiento generado por el ducto. Estas fuerzas de empuje que se muestran en la Figura 14, no sólo siguen un patrón ascendente sino descendente, provocando resistencia en los pisos inferiores, lo que ocasiona que los equipos no puedan llegar a su rendimiento óptimo o incluso puedan detenerse y no girar como consecuencia de la contrapresión ejercida por los demás ventiladores. La implementación de un sistema de este tipo estaría ocasionando que el edificio no quede protegido contra el humo y que sólo se alcancen los requerimientos establecidos por la normativa en los pisos más altos.

La solución planteada al usuario para resolver esta deficiencia, fue instalar equipos centralizados en la azotea (a pesar de la prohibición del uso de equipos de extracción e inyección centralizados). Con la implementación de estos equipos se logró superar la deficiencia, luego de la instalación y prueba de estos equipos se obtuvieron resultados conformes en todos los pisos.

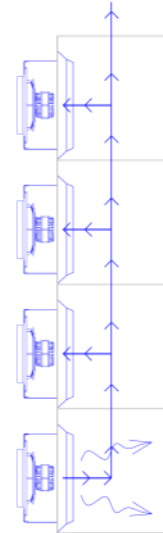
Una segunda deficiencia encontrada, ha estado relacionada con la especificación de equipos activados de manera individual. Algunos proyectistas estiman que el requerimiento de tener un extractor e inyector por piso implica que el sistema debe trabajar individualmente por piso, es decir ante una condición de incendio en un piso determinado, sólo debe encenderse el extractor e inyector de ese piso.

**Figura 14**



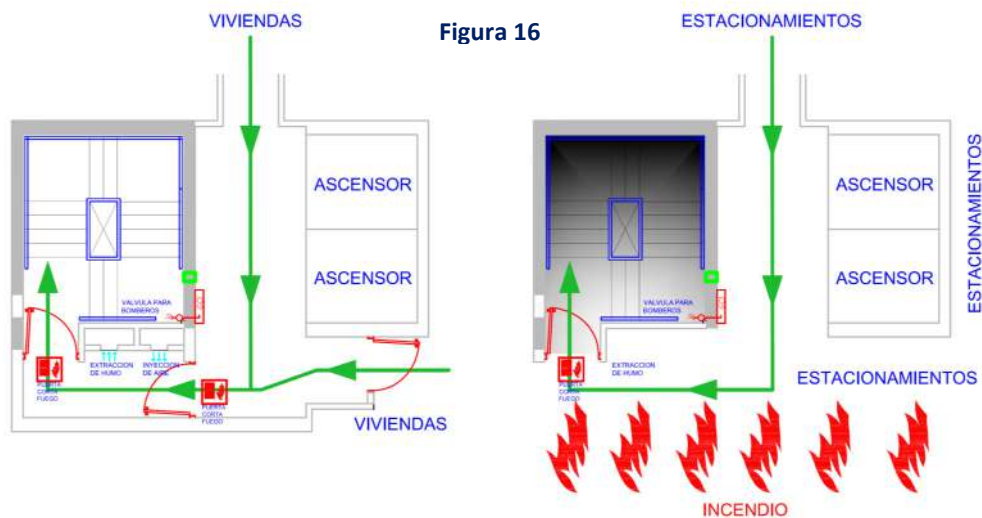
Esta conceptualización implica que el problema de las fuerzas de empuje descendentes se vea resuelto en parte, sin embargo no se toma en cuenta las siguientes deficiencias que ocasionaría un sistema de este tipo. La primera de ellas está relacionada con el reintegro del humo a otros pisos a menos que todos los pisos estén equipados con dámper anti retorno corta humo o trampas de humo (lo cual además haría que el sistema sea más costoso). La Figura 15 muestra lo que sucedería en caso sólo se encienda un equipo en el espacio afectado por el incendio, la fuerza vertical ascendente (e incluso descendente) provocaría que todo el vestíbulo se contamine de humo antes de que sea descargado a la atmosfera.

Figura 15



La segunda de ellas es la presión del ventilador axial, que por sus características de diseño es un equipo de alto volumen y baja presión. En consecuencia, la baja presión estática de los equipos axiales no podría vencer el tiro del ducto, a menos que sea ayudado por otros equipos en serie, tal cual prevé la normativa actual. Recalamos nuevamente que este concepto de sumatoria de presiones de flujo de los ventiladores instalados en serie, funciona bien en edificios de baja altura o en ductos de grandes secciones.

La tercera deficiencia encontrada, tan grave como las anteriores, es obviar los vestíbulos previos en los sótanos, donde generalmente se ubican los parqueos de vehículos. Por alguna inexplicable razón las autoridades competentes y proyectistas de seguridad encargados de prever la implementación de vestíbulos previos en las edificaciones residenciales, y los ingenieros mecánicos que los proyectan posteriormente, están interpretando que se deben prever estos vestíbulos ventilados únicamente en la zona residencial o zona de viviendas. Esto provoca que ante un eventual incendio en los parqueos, zona considerada de mayor riesgo y de mayor carga calórica, la propagación vertical del fuego y vulnerabilidad de la escalera estaría supeditada a la resistencia al fuego y humo de un sólo elemento, constituido por una puerta corta fuego que protege la escalera en los sótanos. Como muestran las Figura 16 y 17, si el incendio ocurriera en la zona de parqueos y por alguna razón la puerta de la escalera fallara, fuera dejada abierta o esté abierta al momento del incendio, la propagación del humo, gases tóxicos, calor y demás



componentes nocivos de la combustión, se trasladarían fácilmente por toda la escalera, vulnerando la filosofía de seguridad y protección prevista por el vestíbulo previo ventilado.

Finalmente observamos que hay una mala interpretación del concepto de presurización de la escalera exigido por el RNE. El reglamento indica que la escalera debe ser presurizada con una sobre presión no menor a 0.10 in wg. y el sistema debe estar equipado con un dámper de alivio de presión de funcionamiento mecánico, con capacidad suficiente para descargar al menos 2500 CFM. La totalidad de los proyectos analizados han interpretado que el ventilador del presurizador de escaleras debe ser de 2500 CFM @ 0.10 in wg.

### La problemática de la ventilación de los vestíbulos previos después de su implementación

Si bien el principio de un vestíbulo previo ventilado es muy simple, existen elementos muy importantes que deben ser tomados en cuenta para que el sistema no falle:

- Si las puertas corta fuego son dejadas deliberadamente abiertas, el sistema fracasará. Es una práctica común que las puertas de la escalera de evacuación sean dejadas deliberadamente abiertas, esto como consecuencia del desconocimiento de su función.
- Si los bomberos no conocen de la existencia de un pase de manguera, podrían ingresar a extinguir el incendio abriendo las dos puertas del vestíbulo, contaminando la escalera.
- Si el pase de manguera no está señalizado, los bomberos no podrían ubicarlo, ya que éste normalmente está oculto y mimetizado con la tabiquería o mampostería de la edificación.
- Si el sistema de ventilación no opera, porque ha sido mal instalado o por que no ha recibido un adecuado mantenimiento, la filosofía de funcionamiento del sistema fracasará.
- Si las señales provenientes del sistema de alarma contra incendios del edificio fracasan o no han sido convenientemente implementadas, el sistema de ventilación no operará.
- Si no existe un sistema de la energía eléctrica emergencia y falla la fuente de energía primaria, el sistema de ventilación fracasará.
- Si no encienden todos los extractores o parte de ellos sufren desperfectos, el vestíbulo se contaminará de humo. Esta deficiencia hace que el sistema sea muy vulnerable a fallas futuras, ya que la falta de mantenimiento e inspección sumada a la falta de uso de estos sistemas, provocaría que en el largo plazo muchos de ellos no operen o sufran desperfectos durante su operación.

Figura 17



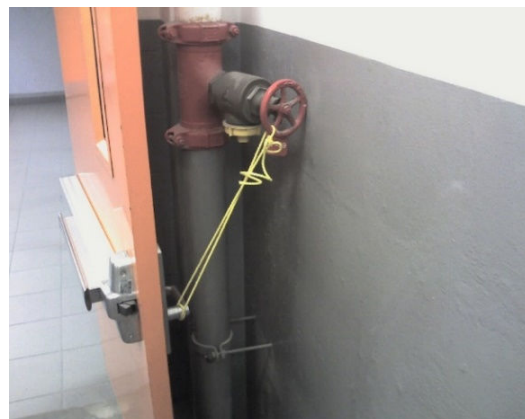
Para graficar la importancia del vestíbulo previo y la dependencia que éste juega en la sostenibilidad de la vida de los ocupantes de un edificio en caso de incendio, comentaremos el caso de un incendio en los Estados Unidos donde un sistema de vestíbulos previos estuvo implementado.

El 17 de octubre del 2003, se inició un incendio en el 12vo. piso de un edificio de oficinas de 37 pisos ubicado en el Condado de Cook en Chicago (USA), el cual estaba equipado con un sistema de vestíbulos previos ventilados mecánicamente. El incendio fue controlado en muy poco tiempo. Desde el inicio del incendio, detectado rápidamente a las 17:00 hrs. por los trabajadores que se encontraban en el piso 12, quienes veían salir humo de un pequeño almacén de artículos de oficina, hasta su extinción que se hizo con la intervención del Cuerpo de Bomberos, sólo pasó una hora (18:08 hrs.). Siendo la detección muy rápida, la efectividad para extinguirlo en tan corto tiempo, fue uno de las causales de que este incendio haya afectado un área de tan sólo el 20% de uno de sus pisos. Asimismo, por la hora del incendio y siendo un día viernes, el edificio de oficinas estaba casi deshabitado. Sin embargo, y con todas estas particularidades favorables, este incendio dejó 6 muertes.



Los ocupantes que evacuaban por encima del piso 12 fueron detenidos en el piso 12 por los bomberos, quienes les dijeron que subieran y tomen la otra escalera que tenía el edificio. Cuando lo hicieron, encontraron que todas las puertas de reingreso estaban cerradas hasta el piso 27. Sin embargo, antes de que todos los evacuantes pudieran llegar al piso 27, los bomberos abrieron las puertas de la escalera del piso 12 para combatir el incendio. Esto llevó a que la escalera se contaminara de humo y gases tóxicos, lo que superó la capacidad de resistencia de 6 personas que se encontraban subiendo al piso 27, con el propósito de cambiar de escalera y poder evacuar.

Al margen de las diversas deficiencias que hubieron en este caso, como la de priorizar la extinción del incendio y no la vida de las personas por parte de los bomberos, la falla de los sistemas de ventilación de emergencia de la escalera y la inexistencia de un sistema de rociadores, la principal falla que se atribuye a este caso es haber violado la sostenibilidad de la escalera de evacuación. Al abrir las puertas de evacuación, los bomberos contaminaron la escalera y provocaron la muerte de 6 personas, fuera de causar serios daños en la salud de muchas más.



### Vestíbulos Previos: Conclusiones previas y posibles soluciones

Existen tantas causas que hacen vulnerable a un sistema de ventilación mecánica de vestíbulos previos, que es necesario concientizar a las autoridades competentes, a los proyectistas, a los bomberos y a los propietarios de las edificaciones sobre la importancia que éste tiene para la sostenibilidad a la vida de los evacuantes en caso de incendio. Nuestro entender es que no se le está dando la debida atención a su importancia.

En base a la problemática planteada, las posibles correcciones y/o mejoras que se proponen son las siguientes:

1. Prohibir la instalación de extractores e inyectores individuales por piso y exigir el uso de sistemas centralizados que trabajen a través de ductos y rejillas reguladas con dampers que permitan un adecuado balanceo de caudales en todos los pisos. La Figura 18 muestra dos tipos de ventiladores centralizados, su construcción robusta es más adecuada que los pequeños ventiladores axiales.
2. Promover el uso de vestíbulos ventilados naturalmente siguiendo los principios establecidos por la norma NFPA 101 y otras. Promover su uso principalmente en edificaciones residenciales de bajo costo, en las cuales se debe evitar equipamientos que a largo plazo quedarán fuera de servicio por falta de mantenimiento. El aire natural es una fuente ilimitada e infinita de ventilación, libre de mantenimiento y de costo cero.
3. Exigir el cálculo de la sección del ducto y caídas de presión en los sistemas de ventilación de vestíbulos de manera tal que las presiones de los equipos estén sustentadas mediante cálculo de pérdidas o caídas de presión.
4. Exigir la implementación de vestíbulos ventilados en la totalidad de la escalera, no se deben obviar los vestíbulos previos en los sótanos, donde generalmente se ubican los parqueos de vehículo, que son el más alto riesgo de la edificación.
5. Exigir el cálculo de presurización de la escalera y no interpretar que éste tiene que ser el caudal y presión del dámper de alivio.
6. En los casos que se instalen vestíbulos previos ventilados naturalmente en la zona residencial (por encima del nivel cero) y se tengan estacionamientos subterráneos, se puede proponer una solución mixta, es decir un sistema de ventilación de vestíbulos ventilados mecánicamente únicamente para los sótanos.
7. Promover la desconexión arquitectónica de las escaleras que provienen de los sótanos con las escaleras que provienen de la zona residencial, esta práctica sería la ideal para evitar la contaminación de un incendio proveniente de la zona de mayor riesgo.
8. No se debería obviar la implementación de vestíbulos en los sótanos aun cuando la escalera que baja hacia los sótanos no esté conectada con la escalera que sube a los pisos superiores.



Figura 18

### **Principios de funcionamiento de las escaleras presurizadas**

Un sistema de presurización de escaleras es un conjunto de dispositivos y accesorios conectados entre sí, con el fin de activarse automáticamente durante una condición de alarma de incendio y lograr la inyección mecánica de aire exterior a la caja de escaleras, proporcionando una presión positiva que impida el ingreso de los productos de combustión dentro de las vías de escape, favoreciendo la evacuación e impidiendo -o minimizando- la propagación vertical del humo.

De acuerdo a Reglamento Nacional de Edificaciones, las escaleras de evacuación deberán contar con un vestíbulo previo, sin embargo estos vestíbulos pueden ser obviados si se instala un sistema de presurización de escaleras, a excepción de los usos residenciales donde no está permitida su instalación.

### **La Normativa internacional de escaleras presurizadas**

La normativa nacional en presurización de escaleras consta de algunos artículos con requerimientos muy generales, sin embargo la principal deficiencia de la normativa vigente es la falta del establecimiento de criterios específicos de diseño. La carencia del requerimiento obligatorio de una norma específica de diseño, provoca que los proyectistas responsables del diseño sigan procedimientos de cálculo tan diferentes y personalistas que prácticamente una escalera presurizada puede diseñarse con cualquier metodología de cálculo, incluso con metodologías muy simples, sui generis o mal entendidas.

Sin duda la norma de diseño más reconocida a nivel mundial es evidentemente la norma NFPA 92 (Standard for Smoke-Control Systems Utilizing Barriers and Pressure Differences – Estándar para Sistemas de Control de Humos que Emplean Barreras y Diferencias de Presión), sin embargo existen algunas otras normas importantes que usan los proyectistas locales, una de ellas es la norma UNE-EN 12101-6 (Sistemas para el control de humo y de calor Parte 6: Especificaciones para los sistemas de diferencial de presión Equipos).

### **La problemática de la presurización de escaleras antes de su implementación**

No cabe duda que la metodología de cálculo de la norma NFPA 92 es compleja y poco atractiva de aprender y seguir por los proyectistas, y al no ser exigida, son muy pocos los que la utilizan. La norma UNE-EN 12101-6 en cambio resulta más sencilla de entender, no obstante también es confusa y poco entendida por los proyectistas locales. Como resultado de todo esto, un proyecto de presurización de escaleras puede ser consecuencia de cualquier resultado, o en otras palabras si solicitáramos a 10 proyectistas distintos que nos diseñen un sistema de presurización de escaleras, obtendríamos 10 resultados totalmente distintos en caudales y presiones de equipos, lo que demuestra la total informalidad que existe en materia de ingeniería de diseño de presurización de escaleras.

Si tuviéramos que resumir las principales deficiencias encontradas en la etapa de diseño y aprobación de los proyectos de presurización de escaleras, diríamos lo siguiente:

- Falta de criterios previamente establecidos o definidos con respecto al número de puertas abiertas que deben ser calculadas, esto se debe a la poca adherencia del proyectista mecánico con la estrategia de evacuación del edificio, la que está muy intrínsecamente ligada al tipo de ocupación, número de pisos de la edificación, número de ocupantes por piso, existencia de áreas

de concentración masiva, estrategia de evacuación, metodología de evacuación, existencia o no de sistemas de evacuación por voz, entre muchas variables que deben evaluarse para definir o por lo menos teorizar cómo se comportarán los ocupantes al momento de la evacuación.

- Desconocimiento del potencial adverso que tiene la apertura y cierre de las puertas de evacuación sobre el comportamiento del sistema, esta variable es muy importante ya que las contrapresiones que generan estas aberturas y cierres de puertas provocan patrones erráticos en las presiones al interior de la caja de escaleras.
- Desconocimiento o falta de cálculo de las fugas de aire del sistema, se puede observar por ejemplo que de los proyectos que hemos estudiado, salvo una par de proyectistas, todos los demás no introducen ningún factor de cálculo de hermeticidad en las Paredes de las Escaleras y ningún Factor de Hermeticidad de las Paredes Exteriores, tan solo consideran fugas en puertas.
- Desconocimiento o falta de cálculo del diferencial de temperaturas entre el exterior e interior del Edificio.

### La problemática de la presurización de escaleras después de su implementación

Como consecuencia de sistemas tan dispares y profesionalmente tan poco entendidos, los resultados posteriores a su implementación son bastante dispersos y difíciles de diagnosticar. Sin embargo trataremos de resumir algunas de las deficiencias encontradas durante las pruebas, puesta en marcha y mantenimiento periódico de los sistemas en los proyectos:

- Cuando los proyectos se diseñan con caudales muy bajos que no toman en cuenta todas las filtraciones, al momento de las pruebas no se generan las sobrepresiones esperadas.
- Algunas pruebas realizadas permiten colegir que el caudal de diseño estuvo por debajo de las necesidades reales del sistema de presurización de escaleras. En otras palabras, los factores de hermeticidad supuestos por el marco teórico de diseño eran menores a los requeridos por el sistema cuando fue puesto en marcha.
- Cuando se abren aleatoriamente una o más puertas, la aceleración de los motores conectados a los variadores de velocidad generan picos que disparan las presiones al interior de la escalera por encima de los valores deseados, generando una presión excesiva al interior de la escalera. Esto provoca que las puertas cerradas no se puedan abrir, debido a la excesiva fuerza que hay que hacer sobre ellas, impidiendo la evacuación. Un estudio (1) ha demostrado este efecto en 5 edificios de la ciudad de Lima que fueron equipados con sistemas de presurización de escaleras. Este estudio demostró que los dámper mecánicos se abren muy lentamente y no tienen un efecto

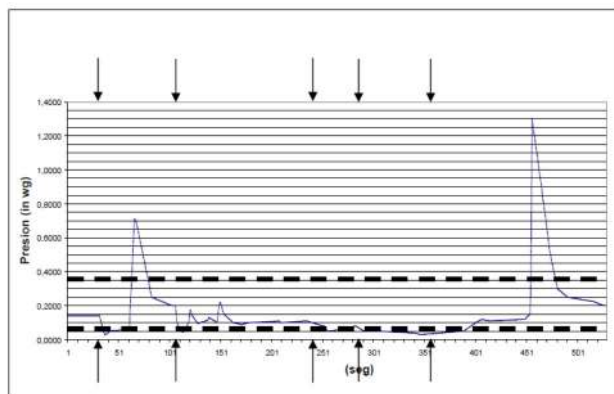


Figure 3 Pressure variation as a function of time for different number of doors open.

Figura 19



significativo en la reducción de la sobre presión al interior de la escalera. La Figura 19 muestra el resultado de este estudio.

- Según ese mismo estudio, cuando las puertas que fueron abiertas aleatoriamente se vuelven a cerrar, la presión se incrementa y nuevamente los dâmpers son incapaces de controlar este incremento. Si bien los variadores de velocidad responden luego para estabilizar la presión, este proceso en algunos casos puede tomar más de dos minutos, esta situación puede ser muy peligrosa durante un evento de evacuación. Si la escalera se sobre presuriza, los evacuantes no podrán salir por las puertas por un lapso de tiempo de hasta dos minutos que toma al sistema estabilizarse a la nueva presión. La sensación que este efecto puede provocar en los evacuantes es creer que las puertas están trabadas, lo que los motivará a usar otros medios de escape riesgosos como los ascensores, y si los ascensores han sido bloqueados en el primer piso (tal cual exige la normativa), no intentarán abrir la puerta nuevamente (creyendo que está trabada), lo que generará una situación de pánico que puede llevar a las personas a decidir lanzarse del edificio u otras acciones inequívocas como esconderse en baños o debajo de muebles e inevitablemente esperar a que los gases tóxicos los terminen matando.

- Ese mismo estudio (1) ha demostrado que el sistema de control gobernado por los variadores de velocidad conectados a los transmisores de presión, logra estabilizar la presión al interior de la escalera luego de una oscilación muy drástica en la velocidad de los ventiladores. Si bien el objetivo es alcanzado luego de unos minutos, esto se logra con cambios de frecuencia y velocidades de los motores que siguen patrones oscilantes y erráticos tal cual muestra la Figura 20.

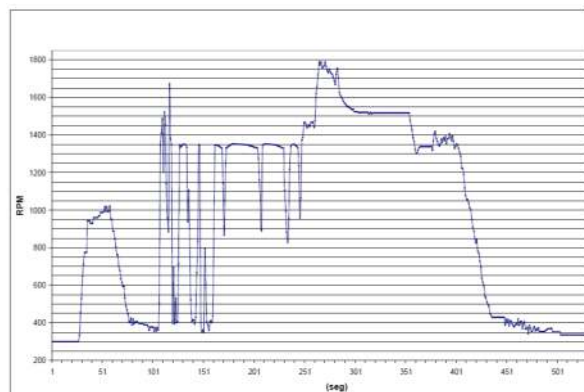


Figure 4 Revolutions per minute for the fan for through the opening and closing of the doors.

Figura 20

- Finalmente otros factores como el desconocimiento o falta de cálculo de las fugas de aire del sistema, sobre todo aquellas relacionadas con la hermeticidad de los pasadizos y corredores de las edificaciones, puede afectar significativamente los resultados. El estudio realizado al que hacemos referencia (1), demuestra que cuando las pruebas de presurización se realizan con aberturas en los pasadizos de distribución, tales como puertas de oficinas abiertas y puerta del ascensor abierta, estos factores afectan significativamente las presiones y caudales requeridos por el sistema.

### Presurización de escaleras: Conclusiones previas y posibles soluciones

Al igual que sucede con los sistemas de ventilación de vestíbulos, existen tantas causas que hacen vulnerable a un sistema de presurización de escaleras, que es necesario concientizar a las autoridades competentes, a los proyectistas, a los bomberos y a los propietarios de las edificaciones sobre la

importancia que éste tiene para la sostenibilidad a la vida de los evacuantes en caso de incendio. Nuestro entender es que no se le está dando la debida atención a su importancia.

En base a la problemática planteada, las posibles correcciones y/o mejoras que se proponen son las siguientes:

- Establecer pautas más específicas con respecto al número de puertas abiertas que deben ser calculadas, en función de las variables que intervienen en la estrategia de evacuación tales como el tipo de ocupación, número de pisos de la edificación, número de ocupantes por piso, existencia de áreas de concentración masiva, existencia o no de sistemas de evacuación por voz, entre otras variables.
- Exigir el uso de la norma NFPA 92 y el manual de ASHRAE como metodologías de diseño de los sistemas de presurización de escaleras.
- Incorporar obligatoriamente en el diseño, las variables específicas que anticipen las condiciones de fugas de aire que puede tener el sistema, tales como los factores de cálculo de hermeticidad en las Paredes de las Escaleras y Paredes Exteriores.
- Exigir protocolos de pruebas más estrictos que permitan determinar con mayor pulcritud las condiciones establecidas durante la etapa de evaluación de la estrategia de evacuación del edificio y permitan validar el diseño del sistema de presurización de escaleras. Estas pruebas deben ensayar todas las condiciones que fueron establecidas en la etapa de diseño, con el fin de permitir validar o ajustar el equipamiento instalado, además de verificar el cumplimiento de las condiciones que permitan asegurar que la presurización de escaleras cumpla los objetivos de diseño planteados.

### Bibliografía Consultada

- (1) C Bellido, A Quiroz, A Panizo and JL Torero, Performance Assessment of Pressurized Stairs in High Rise Buildings, Fire Technology 45 (2), pp. 189-200, 2009. doi:10.1007/s10694-008-0078-0
- (2) Presentaciones del Master in Fire Protection Engineering Science de California Polytechnic State University
- (3) Estudio de 37 proyectos de Presurización de Escaleras y Ventilación de Vestíbulos, desarrollados por varios especialistas Ingenieros Mecánicos en edificaciones de la Ciudad de Lima entre el año 2010 al 2018.
- (4) Protocolos de Prueba realizados por GRUPO 3S S.A.C., empresa dedicada el Diseño, Suministro, Instalación, Prueba y Mantenimiento de Sistemas Contra Incendios.
- (5) NFPA 92, NFPA, Quincy Massachusetts, 2006.
- (6) NFPA 72, NFPA, Quincy, Massachusetts, 2006.
- (7) NFPA 101, NFPA, Quincy, Massachusetts, 2006.
- (8) UNE-EN 12101-6, Sistemas para el control de humo y de calor Parte 6: Especificaciones para los sistemas de diferencial de presión Equipos.
- (9) Reglamento Nacional de Edificaciones (Edición Año 1970).
- (10) Reglamento Nacional de Edificaciones (Edición Año 1988).
- (11) Reglamento Nacional de Edificaciones (Edición Año 2006).
- (12) Reglamento Nacional de Edificaciones (Edición Año 2009).

- (13) Reglamento Nacional de Edificaciones (Edición Año 2014).
- (14) International Building Code (IBC Edición 2009).
- (15) International Building Code (IBC Edición 2012).
- (16) Shan K. Wang, Handbook Of Air Conditioning And Refrigeration, McGraw-Hill, 2000.
- (17) John H. Klote, James A. Milke, Paul G. Turnbull, Ahmed Kashef, Michael J. Ferreira, Handbook of Smoke Control Engineering, ISBN 978-1-936504-24-4, 2012.
- (18) Klote, J.H., and J.A. Milke, Design of smoke management systems. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., ASHRAE, 1992.
- (19) Klote, John H., Design of Smoke Control Systems for Areas of Refuge, Building Fire Research Laboratory, Gaithersburg, MD 20889, 1993.
- (20) John Klote, James Milke, Principles of Smoke Management, American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc., Society of Fire Protection Engineers, 2002.