

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**“DISEÑO DEL SISTEMA DE PRESURIZACION Y
CONTROL PARA LA ESCALERA DE ESCAPE DEL C.C.
CAMINO REAL”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECANICO

NICOLAS ANTONIO VARGAS CORTEZ

PROMOCION 2000-II

LIMA-PERU

2006

TABLA DE CONTENIDOS

PROLOGO	1
CAPITULO 1	
INTRODUCCION	4
CAPITULO 2	
DEFINICIONES PRELIMINARES	8
2.1 ANTECEDENTES HISTORICOS	8
2.2 PUNTOS DE VISTA EN LA PROTECCION CONTRA INCENDIOS	9
2.3 ABREVIATURAS Y DEFINICIONES UTILIZADAS	10
CAPITULO 3	
CONSIDERACIONES TEORICAS	13
3.1 NATURALEZA DEL HUMO	13
3.1.1 DEFINICION	13
3.1.2 TOXICIDAD DEL HUMO	13
3.2 ANALISIS DEL MOVIMIENTO DEL HUMO	14
3.2.1 AREA EFECTIVA DE FLUJO	15
3.2.2 MOVIMIENTO EN UN ARREGLO PARALELO	15
3.2.3 MOVIMIENTO EN UN ARREGLO EN SERIE	17
3.2.4 COMBINACION DE ARREGLOS EN PARALELO Y SERIE	19
3.3 FUERZAS QUE INDUCEN EL MOVIMIENTO DEL HUMO	20
3.3.1 EFECTO COLUMNA O CHIMENEA	21
3.4 UBICACIÓN PLANO NEUTRAL	29
3.4.1 COLUMNA CON UNA ABERTURA CONTINUA	29
3.5 INFILTRACION Y VENTILACION	32

CAPITULO 4

PRINCIPIOS Y METODOS ANALITICOS	34
4.1 MANEJO O CONTROL DEL HUMO	34
4.1.1 COPARTIMENTACION	35
4.1.2 DILUCION O EXTRACCION REMOTA DEL HUMO	36
4.1.3 PRESURIZACION	36
4.1.4. FLUJO DE AIRE	40
4.2 ANALISIS DEL FLUJO Y LA DIFERENCIA DE PRESION	40
4.2.1 FLUJO DOMINADO POR FUERZAS DINAMICAS	42
4.2.2 FLUJO DOMINADO POR FUERZAS VISCOSAS	43
4.2.3 ECUACION EXPONENCIAL DEL FLUJO	45
4.2.4 FLUJO A TRAVES DE RANURAS	46
4.3 AREAS DE FLUJO	50
4.4 LA SIMETRIA	52
4.5 FUERZA DE APERTURA EN PUERTAS	53
4.6 DIFERENCIA DE PRESIONES DE DISEÑO	55

CAPITULO 5

EQUIPAMIENTO UTILIZADO EN LOS SISTEMAS DE CONTROL DE HUMOS	57
5.1 SISTEMAS DE HVAC	58
5.2 VENTILADORES	58
5.2.1 VENTILADORES CENTRIFUGOS	60
5.3 DAMPERS	61
5.4 VARIADORES DE FRECUENCIA	63

CAPITULO 6

APLICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE HUMOS: PRESURIZACIÓN DE ESCALERAS	66
6.1 SISTEMA DE PRESURIZACION	67
6.1.1 INYECCIÓN ÚNICA O INYECCIÓN MULTIPLE	67
6.1.2 COMPARTIMENTACION	69
6.2 PERFIL DE LAS PRESIONES	70
6.3 ANALISIS DE LA PRESURIZACIÓN	72
6.3.1 PRESIONES	72

6.3.2 PRESURIZACION	75
6.3.3 DIFERENCIA DE PRESIÓN PROMEDIO	78
6.4 ALTURA LIMITE	79
6.5 SISTEMA SIMPLE DE PRESURIZACION DE ESCALERAS	81
6.6 SISTEMA CON PUERTAS ABIERTAS	82
6.6.1 SISTEMA CON SUMINISTRO CONSTANTE DE AIRE	83
6.6.2 SISTEMA CON DAMPERS BAROMETRICOS	85
6.6.3 SISTEMA CON SUMINISTRO DE AIRE VARIABLE	85
6.7 ANALISIS DEL SISTEMA CON PUERTAS ABIERTAS	86
CAPITULO 7	
DISEÑO DEL SISTEMA DE PRESURIZACIÓN	92
7.1 ANALISIS DE LA ARQUITECTURA DEL EDIFICIO	92
7.1.1 MODIFICACIONES PROPUESTAS	97
7.2 PARAMETROS A CONSIDERAR	101
7.2.1 PARAMETROS ARQUITECTONICOS	101
7.2.2 OTROS PARAMETROS	103
7.3 CALCULOS	104
7.3.1 CALCULOS PREVIOS	104
7.3.2 CALCULO DE CAUDAL DE PRESURIZACION	106
7.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE AIRE	118
7.4.1 VENTILADOR	119
7.4.2 DUCTOS DE PRESURIZACIÓN	120
7.4.3 REJILLAS DE INYECCIÓN DE AIRE	122
7.4.4 SUMINISTRO ELÉCTRICO	122
7.5 SELECCIÓN DEL EQUIPAMIENTO	123
7.5.1 DUCTOS	123
7.5.2 REJILLAS	123
7.5.3 VENTILADOR	124
7.6 AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA	126

CAPITULO 8	
METODOS PARA LA REALIZACION DE PRUEBAS AL SISTEMA	129
8.1 INSTRUMENTOS	130
8.1.1 DIFERENCIA DE PRESIÓN	130
8.1.2 CAUDAL	130
8.1.3 VELOCIDAD DEL AIRE	130
8.1.4 FUERZA DE APERTURA EN PUERTAS	130
8.2 PASOS PARA REALIZAR LAS PRUEBAS	130
8.2.1 INSPECCIÓN	131
8.2.2 PRUEBAS	132
CAPITULO 9	
EVALUACION TECNICA ECONOMICA	134
9.1 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS	134
9.1.1 VENTILADOR	134
9.1.2 VARIADOR DE VELOCIDAD	135
9.1.3 TRANSMISOR DE PRESION DIFERENCIAL	138
9.2 CATALOGOS	139
9.3 PRESUPUESTO	139
CAPITULO 10	
OTROS SISTEMAS DE CONTROL DE HUMOS	141
10.1 CONTROL ZONAL DE HUMOS	141
10.2 CONTROL DEL HUMO DEL ELEVADOR	141
10.3 CONTROL DEL HUMO EN ESPACIOS AMPLIOS	142
CONCLUSIONES	143
BIBLIOGRAFIA	145
PLANOS	146
ANEXOS	147
ANEXO A	
NORMAS Y REGLAMENTOS	148

ANEXO B	
TABLAS Y GRAFICAS	181
ANEXO C	
CALCULOS COMPLEMENTARIOS	187
ANEXO D	
CATALOGOS	194
ANEXO E	
PRESUPUESTO REFERENCIAL	203

PROLOGO

En el presente informe se presentan los fundamentos y cálculos para el diseño y la aplicación de un sistema de control de humos, el cual es el sistema de presurización de escaleras, para el edificio Torre Central del Centro Comercial Camino Real, ubicado en el distrito de San Isidro, tomando como base la norma americana NFPA 92A (National Fire Protection Association)

En el primer capítulo se indica el objetivo principal del presente informe de ingeniería, el cual es finalmente la preservación de la vida humana, además de indicar la manera de como ha ido evolucionando las necesidades del hombre para lograr una mayor seguridad en las nuevas instalaciones que el avance tecnológico permite desarrollar y construir para el confort del hombre. También se describirán en forma general, los diferentes tipos de sistemas para combatir la generación del fuego así como para evitar la propagación del humo, los cuales siempre deben ser complementarios.

En el segundo capítulo se desarrollan algunos antecedentes históricos de los incendios producidos en edificaciones, para que ilustren la importancia de estos sistemas de control de humos para preservar la vida humana. También se verán los

dos enfoques para la protección contra incendio. Por último se mencionarán algunos términos y abreviaciones utilizados en el presente informe.

En el tercer capítulo se expondrán las consideraciones teóricas básicas las cuales serán necesarias para el entendimiento del análisis posterior. Estudiaremos la naturaleza del humo, el movimiento del mismo, y las fuerzas que inciden en el movimiento o dispersión de este en el interior del edificio. También se definirá el concepto del plano neutral, el cálculo de su ubicación, además de la importancia de la infiltración y la ventilación en los edificios comerciales.

En el cuarto capítulo se analizarán algunos principios y métodos más avanzados, combinando en estudio teórico con el experimental, para llegar a obtener algunas expresiones o ecuaciones generales que nos serán de mucha utilidad para los cálculos posteriores. También se analizarán algunos parámetros que nos servirán para el diseño del sistema de presurización, especialmente los rangos de la diferencia de presión permitidos, así como la fuerza máxima de apertura de puertas para el ingreso de hacia la escalera en el caso de algún siniestro.

En el quinto capítulo se indican los equipos que comúnmente son utilizados para la implementación de estos sistemas de control de humos. Estos son los ventiladores mecánicos, dampers de diferentes tipos como los dampers corta fuego y corta humo y algunos equipos eléctricos y electrónicos para el control y automatización de los equipos mecánicos.

En el sexto capítulo, se indicará el método de cálculo del caudal de aire necesario para la presurización de escaleras, utilizando expresiones de capítulos anteriores,

obteniendo ecuaciones muy importantes según el tipo de presurización que se desea aplicar, ya sea considerando la totalidad de puertas cerradas o con el caso más real en el caso de una evacuación, que es considerando algunas puertas abiertas constantemente.

En el octavo capítulo, teniendo todas las ecuaciones y la teoría necesaria, se procederá al cálculo del sistema de presurización para la escalera de escape del edificio Torre Central del Centro Comercial Camino Real, obteniendo los parámetros más importantes para el diseño del sistema y selección de los equipos.

En el noveno capítulo, se realizará una evaluación económica de la implementación real de este sistema en el edificio estudiado, además de detallarse las especificaciones técnicas que deberá tener el equipamiento principal.

En el décimo capítulo se presentarán los conceptos básicos de otros sistemas de control de humos, los cuales tiene otras finalidades y que son aplicados a distintos tipos de edificaciones.

Para el presente informe de suficiencia, se utilizarán tanto las unidades en el Sistema Internacional, como en el Sistema Ingles. Pero para algunos cálculos se preferirá utilizar el Sistema Ingles, ya que tanto algunas formulas y graficas están detalladas en este sistema. Además de que en el rubro de ventilación industrial es más común utilizar el sistema ingles.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

El hombre, por la naturaleza propia de supervivencia, utilizó su inteligencia para desarrollar métodos o formas que eviten o prevengan los diferentes riesgos que desde el principio de su existencia se presentaron, amenazando su integridad.

Estos riesgos o situaciones peligrosas más comunes y frecuentes contra los cuales el hombre ha venido luchando, son los incendios y los causados por la naturaleza, como los sismos, tsunamis, tornados, etc.

A causa del crecimiento acelerado de las poblaciones, con la construcción de edificios de gran altura, el hombre aprovecha de una manera más eficiente el espacio para las diferentes actividades que realiza, ya sean actividades de trabajo o de entretenimiento, siendo esto un gran aporte, especialmente para el desarrollo financiero y comercial de una ciudad. Por ello, en la actualidad, en las ciudades de los países del mundo entero, especialmente en aquellas donde se concentra la mayor parte del movimiento comercial y financiero, existe una diversidad de edificaciones, las cuales son utilizadas como complejos habitacionales, zonas de esparcimiento y zonas comerciales.

Ahora, sabemos que todo nuevo avance o desarrollo tecnológico resuelve problemas, pero también estos avances generan otros tipos de necesidades o problemas que resolver. En el caso de las grandes edificaciones, si bien es cierto que soluciona el problema de la falta de espacio, estas también generan otra preocupación, la cual es la seguridad de las personas que ocupan estas edificaciones en el caso de algún siniestro, ya que en estas situaciones, el peligro es mucho mayor y los daños normalmente son de gran magnitud.

Por ello, uno de los retos del hombre es el de evitar o de minimizar los efectos de los siniestros que puedan presentarse en estas edificaciones de gran magnitud, y el siniestro que mas se presenta son los incendios.

Existen dos formas de tratar este problema. Una de ellas es evitar el incendio, y la otra es controlar los efectos producidos por este.

Para evitar que se produzcan los incendios se deberá incentivar una cultura de prevención, capacitando a las personas que ocupan la edificación, eliminando fuentes de ignición o manteniendo combustibles o elementos inflamables fuera del alcance de estas fuentes de ignición.

Para controlar los efectos producidos por el incendio se utilizan diferentes métodos y sistemas, como por ejemplo la instalación de rociadores o sprinklers y de mangueras contra incendios, los cuales, al producirse algún amago de incendio, son activados y rocían o vierten agua u otros agentes especiales en la zona de ignición del incendio, cortando así la propagación del mismo.

Además de estos sistemas mencionados, existen otros tipos de sistemas, los cuales no se centran en controlar o extinguir el fuego, sino que son dirigidos a controlar la propagación y evacuación del humo generado por el incendio, que es altamente tóxico para las personas. Estos sistemas se complementan a los sistemas descritos anteriormente, que se centran en controlar y extinguir el incendio producido.

En un incendio producido en el interior de un edificio, el humo es el mayor causante de las muertes, porque antes de que las llamas puedan alcanzar lugares lejanos de la zona de fuego, el humo se hace presente muy rápidamente en ellos, y en poco tiempo inunda todo el espacio, asfixiando a las personas que pudieran estar en dicho espacio. Como una solución al problema de la migración del humo en un incendio, fue desarrollado el concepto de Control de Humos (Smoke Management).

El presente informe de suficiencia se centrará en el estudio y desarrollo de los sistemas que evitan la propagación del humo dentro de un edificio, los cuales son denominados "*Sistemas de Control de Humos*" (Smoke Management Systems), principalmente al sistema denominado "*Presurización de Escaleras*", y su función principal de este sistema es el de evitar el ingreso del humo generado en un incendio a la escalera de escape de un edificio, asegurando una vía segura para que los ocupantes puedan ser evacuados, así como también ser la vía de acceso al edificio para que los bomberos puedan llegar a los pisos siniestrados sin mayores dificultades.

El objetivo del presente informe es el de dar las pautas necesarias para el cálculo y la implementación de un sistema de presurización de escaleras, ya sea en

proyectos de nuevas edificaciones o en edificios ya existentes, donde no se ha previsto un sistema de control de humos.

Además, también se busca crear una conciencia de prevención respecto al problema del control de humos que se genera en el caso de un incendio dentro de un edificio, ya que muchas veces las juntas de propietarios o los administradores de edificios ya existentes, así como las autoridades municipales, permiten la construcción de edificaciones sin la implementación de algún sistema contra incendios o con sistemas que son sub-dimensionados solamente para ahorrar costos, y para así poder pasar las inspecciones realizadas por Defensa Civil o por los bomberos, pero sin lograr un verdadero sistema que responda con eficacia en la hora del siniestro.

CAPITULO 2

DEFINICIONES PRELIMINARES

2.1. Antecedentes Históricos

Sabemos que el humo es el mayor causante de muertes en la situación de un incendio. Antes de que las llamas puedan alcanzar lugares lejanos de la zona de inicio del fuego, el humo se hace presente muy rápidamente en ellos, y en poco tiempo inunda todo el ambiente, asfixiando a las personas presentes.

El incendio en el MGM Grand Hotel (Las Vegas - USA) es un ejemplo del problema de la propagación del humo. El incendio del año 1980 se produjo en el primer piso, y a pesar de que las llamas fueron limitadas a este piso por los bomberos y algunos sistemas contra incendios, el humo se esparció a otros pisos. Algunos ocupantes en pisos superiores fueron expuestos al humo por horas antes del rescate. El número de muertes fue de 85 y la mayoría de estas se produjeron en los pisos mas alejados del fuego, tal como lo muestra la figura 2.1.

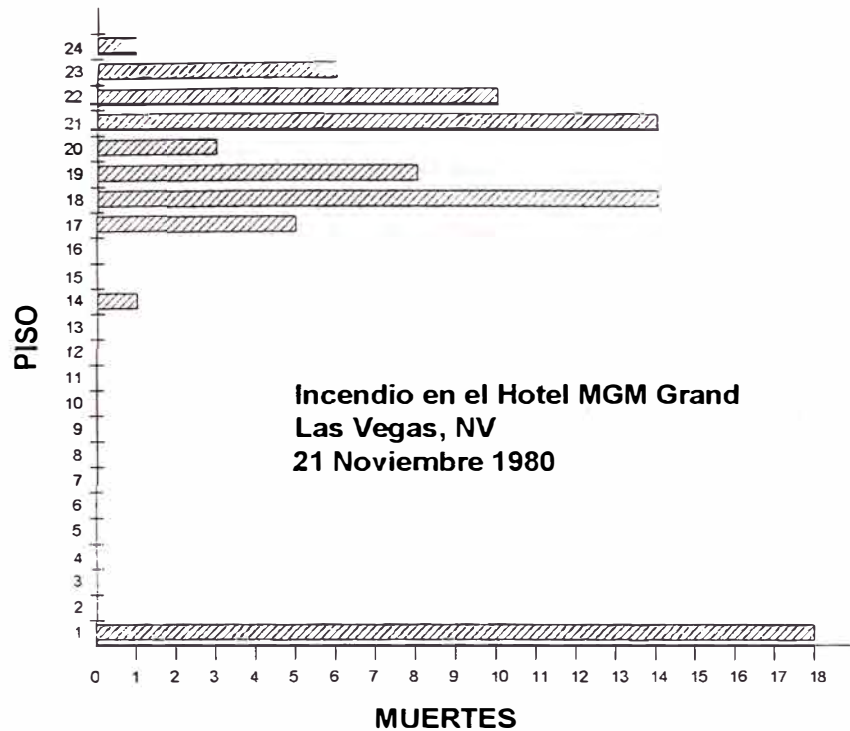


Figura 2.1 Muertes por piso en el incendio del Hotel MGM – Las Vegas

2.2. Puntos de vistas en la protección contra incendios

El Control del Humos (Smoke Management) debe ser visto solo como una parte de la protección global para el edificio en caso de incendio. Aquí mostramos dos enfoques básicos para la protección de incendios, los cuales son (1) la prevención de la ignición del fuego y (2) el manejo del impacto del fuego.

La figura 2.2 muestra un árbol de decisión para la protección del fuego. Los ocupantes y los administradores del edificio tienen el rol primario en prevenir la ignición del fuego. También, sabemos que es imposible prevenir la ignición de un incendio completamente, por lo tanto el manejo del impacto

del fuego ha asumido un rol significativo en el diseño de la protección de incendios.

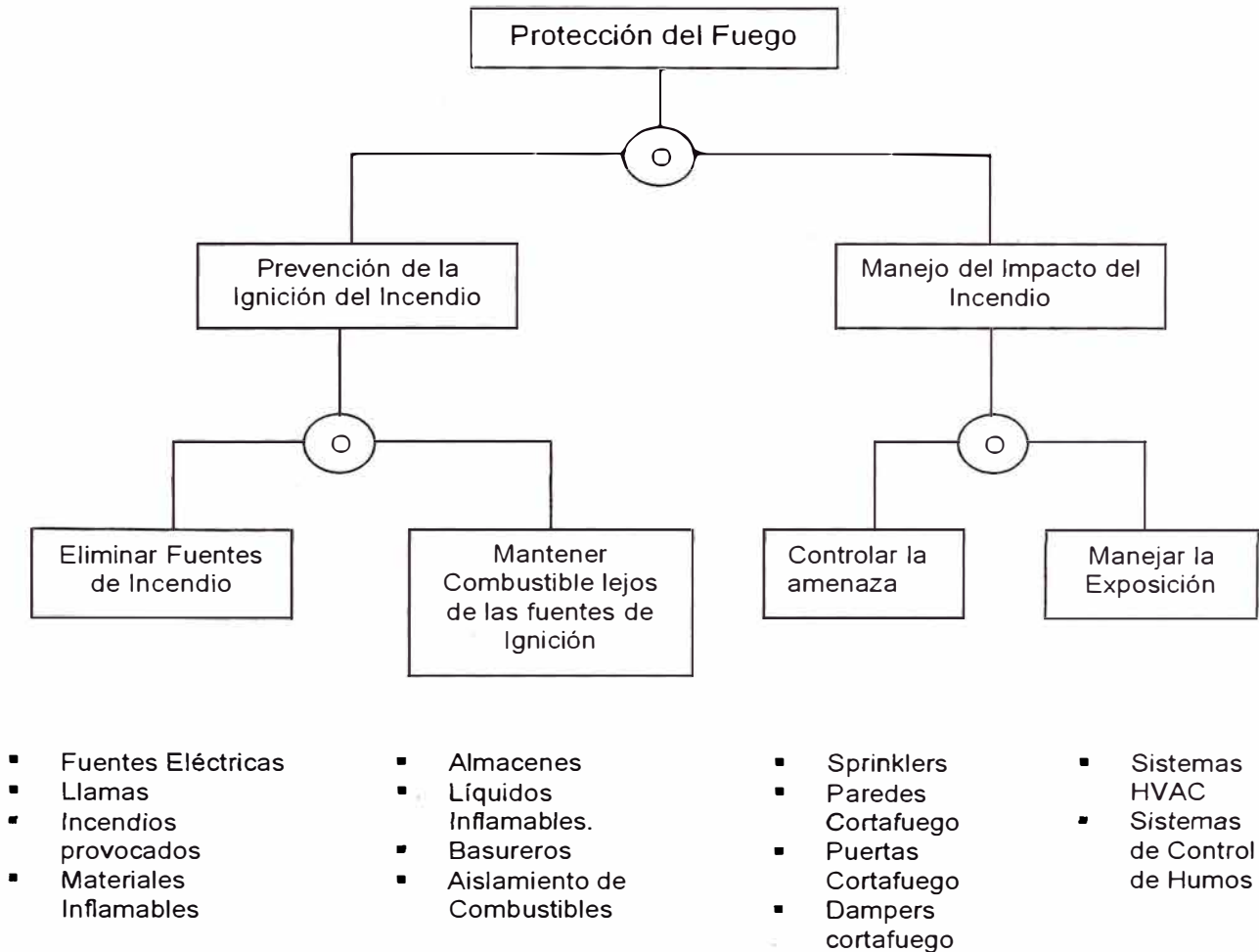


Figura 2.2 Árbol de decisión para la protección contra el fuego

2.3. Abreviaturas y definiciones utilizadas

Ab	=	Área bajo el plano neutral
Ae	=	Área efectiva de flujo
Av	=	Área de flujo de una vano exterior
A'	=	Área de una abertura por unidad de altura.
b	=	Factor de temperatura

C	=	Coeficiente adimensional.
C_e	=	Coeficiente de flujo para la ecuación de flujo exponencial
C_p	=	Calor específico
C_s	=	Coeficiente de flujo
d	=	Distancia de la manija de la puerta hacia el borde
D	=	Diámetro del fuego
D_h	=	Diámetro hidráulico
F	=	Fuerza total de apertura de puerta
F_r	=	Fuerza para vencer el brazo cierra puertas y otras fricciones
G	=	Factor de flujo
h	=	Distancia sobre el plano neutral o altura
H	=	Altura
H_m	=	Altura límite
H_w	=	Altura de la abertura de ventilación.
M_r	=	Momento del brazo cierrapuertas y de otras fricciones.
n	=	Exponente de flujo
N	=	Número de pisos
NP	=	Diferencia de presión adimensional
NQ	=	Caudal adimensional
P	=	Presión o perímetro de ducto ovalado
P_{atm}	=	Presión atmosférica
P_f	=	Pérdida de presión en columna debido a la fricción
Q	=	Caudal
R	=	Constante del gas.
Re	=	Número de Reynolds

t	=	Tiempo
T	=	Temperatura
W	=	Ancho
z	=	Elevación
ΔP	=	Diferencia de presión
ΔT	=	Diferencia de temperatura
μ	=	Viscosidad absoluta
ν	=	Viscosidad cinemática
ρ	=	Densidad
ASHRAE	=	Sociedad Americana de ingenieros de calefacción, refrigeración y aire acondicionado. (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.)
HVAC	=	Heating, Ventilation and Air Conditioned. (CVAC)
NFPA	=	National Fire Protection Association (Asociación Nacional de protección contra el fuego)
UL	=	Underwriter's Laboratory Inc. (Laboratorio de Certificación)

CAPITULO 3

CONSIDERACIONES TEÓRICAS

3.1. Naturaleza del humo

3.1.1. Definición

El humo, de acuerdo con la norma NFPA 92A (National Fire Protection Association), se define como las partículas sólidas y líquidas transportadas en el aire, que junto con los gases, son desarrollados cuando un material experimenta o sufre una pirolisis o combustión, en conjunto con la cantidad de aire que se mezcla dentro de toda la masa.

3.1.2. Toxicidad del Humo

Estudios sobre las causas de muertes por incendio han indicado típicamente que el monóxido de carbono (CO) intoxica cantidades cercanas a la mitad del total de fatalidades. La mitad faltante son a causa de las quemaduras directas, presiones de explosión y otros gases tóxicos.

3.2. Análisis del movimiento del humo

En situaciones de incendio en un edificio, el humo frecuentemente migra a espacios remotos desde el ambiente donde se generó el incendio. Las columnas de las escaleras y de los elevadores pueden convertirse en una vía de dispersión del humo, bloqueando la evacuación y no permitiendo la acción de los bomberos.

El movimiento del humo está regido por la diferencia de presiones existentes entre el lugar donde el humo está presente y el ambiente externo a este, hacia donde el humo migrará, teniendo en cuenta que este se moverá desde un lugar de mayor presión a un lugar de menor presión.

Según la diferencia de presiones ΔP existente entre ambientes, se generará un caudal Q , desde el lado de mayor presión al de menor presión, que se relacionarán por medio de la siguiente ecuación:

$$Q = K_0 C A \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}} \quad (3.1)$$

Donde:

- Q : Caudal de humo.
- A : Área de paso del humo
- ΔP : Diferencia de presión
- ρ : Densidad del Humo
- K_0, C : Constantes

3.2.1. Área Efectiva de Flujo

Los caminos o rutas que el humo seguirá a causa de la diferencia de presiones entre los espacios por donde transita, serán de trayectoria paralela, en serie, o una combinación de estas. El área por donde el humo transita a través de los espacios o ambientes se denomina área de flujo.

El área efectiva de un sistema que presenta diferentes áreas de flujo de humo, es el área que generará un mismo flujo cuando es sometido a la misma diferencia de presión de la totalidad del sistema, a lo largo de la trayectoria del humo.

Esto es análogo al flujo de la corriente eléctrica a través de un sistema eléctrico de resistencias. En los análisis siguientes se consideran los mismos coeficientes de flujo para cada trayectoria y una temperatura constante del aire.

3.2.2. Movimiento en un arreglo en paralelo

Tres áreas de flujo en paralelo de un espacio presurizado son ilustradas en la figura 3.1. La diferencia de presiones, ΔP , es la misma a través de cada una de las áreas de flujo. El flujo total, Q_T , desde el espacio hacia el exterior, es la suma de los flujos a través de las trayectorias de escape.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (3.2)$$

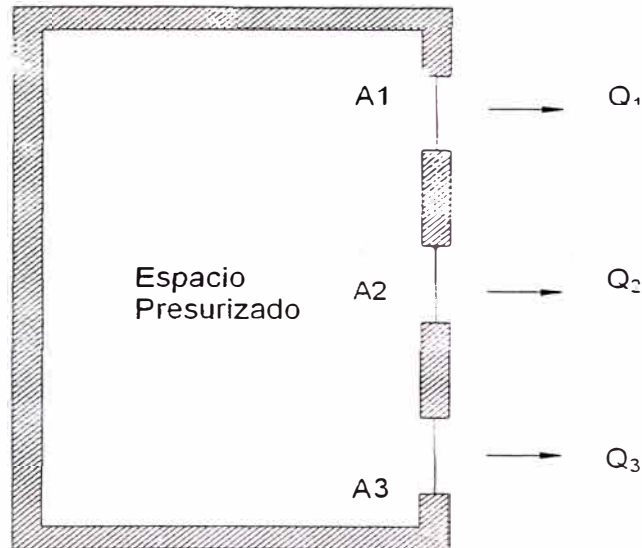


Figura 3.1 Flujos en paralelo

El área efectiva A_e , para este arreglo, es aquella por donde se escapa el flujo total, Q_T . Por lo tanto, el flujo total puede ser expresado como:

$$Q_T = K_0 C A_e \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}} \quad (3.3)$$

Además, el flujo a través del área A_1 puede ser expresado como:

$$Q_1 = K_0 C A_1 \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}} \quad (3.4)$$

Los flujos Q_2 y Q_3 pueden ser expresados de manera similar. Sustituyendo las expresiones para Q_1 , Q_2 y Q_3 en la ecuación (3.2) y agrupando términos tenemos:

$$Q_T = K_0 C (A_1 + A_2 + A_3) \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}} \quad (3.5)$$

Comparando con la ecuación (3.3) tenemos:

$$A_e = A_1 + A_2 + A_3 \quad (3.6)$$

Por analogía lógica, la ecuación (3.6) puede ser extendida a cualquier número de trayectos del flujo, y se puede afirmar que el área efectiva de "n" trayectos de escape en paralelo es la suma de las áreas de flujo:

$$A_e = \sum_{i=1}^n A_i \quad (3.7)$$

3.2.3. Movimiento en un arreglo en serie

Tres áreas de flujo en serie de un espacio presurizado son ilustradas en la figura 3.2. El flujo Q es el mismo a través de cada una de las áreas de filtración. La diferencia de presión total, ΔP_T , del espacio presurizado al exterior es la suma de las diferencias de presiones ΔP_1 , ΔP_2 y ΔP_3 a través de cada una de las respectivas áreas de flujo, A_1 , A_2 y A_3 :

$$\Delta P_T = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 \quad (3.8)$$

El área efectiva para el arreglo del flujo en serie es el área de flujo en el que resulta un flujo Q, para una diferencia de presión total ΔP_T . Por lo tanto, el flujo Q puede ser expresado como:

$$Q = K_0 C A_e \sqrt{\frac{2 \Delta P_T}{\rho}} \quad (3.9)$$

Despejando ΔP_T resulta:

$$\Delta P_T = \frac{\rho}{2} \left(\frac{Q}{K_0 C A_e} \right)^2 \quad (3.10)$$

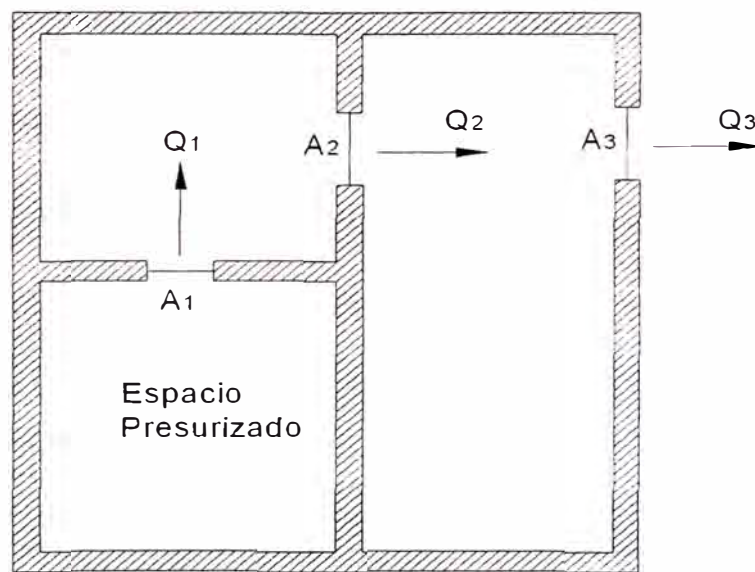


Figura 3.2 Flujos en serie

La diferencia de presión a través de A1 puede ser expresada como:

$$\Delta P_1 = \frac{\rho}{2} \left(\frac{Q}{K_0 C A_1} \right)^2 \quad (3.11)$$

Las diferencias de presiones ΔP_2 y ΔP_3 pueden ser expresadas también de una manera similar. Sustituyendo la ecuación (3.10) y las expresiones para ΔP_1 , ΔP_2 y ΔP_3 en la ecuación (3.8) tenemos una expresión para el área de flujo efectiva:

$$A_e = \left(\frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} + \frac{1}{A_3^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3.12)$$

Este mismo razonamiento puede ser extendido para cualquier número de áreas de filtración en un arreglo en serie:

$$A_e = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{A_i^2} \right)^{-1/2} \quad (3.13)$$

3.2.4. Combinación de Arreglos en Paralelo y en Serie

El método para hallar el área efectiva de un arreglo combinado en serie y paralelo consiste en agrupar sistemáticamente los arreglos en paralelo y en serie, y así, ir reduciendo el sistema hasta llegar al área efectiva final.

La figura 3.3 muestra que A_2 y A_3 están en paralelo, por lo tanto el área efectiva entre estas dos áreas es:

$$A_{23e} = A_2 + A_3 \quad (3.14)$$

Las áreas A_4 , A_5 y A_6 también están en paralelo, entonces el área efectiva es:

$$A_{456e} = A_4 + A_5 + A_6 \quad (3.15)$$

Estas dos áreas efectivas de flujo halladas se encuentran en serie con el área A_1 . Por lo tanto el área efectiva total del sistema esta dada por:

$$A_e = \left(\frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_{23e}^2} + \frac{1}{A_{456e}^2} \right)^{-1/2} \quad (3.16)$$

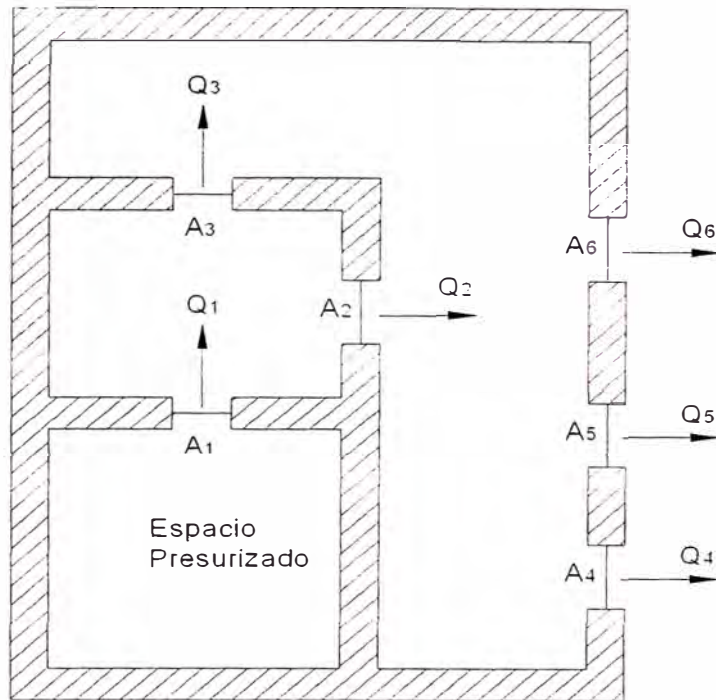


Figura 3.3 Combinación de flujos en serie y en paralelo

3.3. Fuerzas que inducen el movimiento del humo

En un ambiente o edificación, se presentan diferentes fuerzas que inducen el movimiento del aire y del humo. Estas incluyen las generadas naturalmente como el efecto chimenea o columna, la flotación de los gases de combustión, la expansión de los gases de combustión, el efecto viento, así como aquellas fuerzas que son forzadas, como el efecto pistón (causada por el ascensor) y las fuerzas generadas por los sistemas de ventilación y de aire acondicionado.

3.3.1. Efecto Columna ó Chimenea (Stack effect)

Cuando el ambiente externo se encuentra a una temperatura menor que el interior del edificio, se genera frecuentemente un movimiento del aire en los espacios cerrados que van a lo largo de todo el edificio, como son las cajas de las escaleras, el espacio por donde transitan los elevadores, los ductos de basura, etc. El aire en el edificio tiene una fuerza de empuje debido a que está mas caliente y por lo tanto menos denso que el aire exterior al edificio. La fuerza de empuje causa que el aire se eleve en estos espacios o columnas del edificio, produciéndose un flujo del aire de abajo hacia arriba. Este fenómeno es conocido también como efecto chimenea.

Por otro lado, cuando el ambiente exterior al edificio está mas caliente que el interior, se genera un fenómeno inverso, donde el flujo del aire es de arriba hacia abajo.

Para el presente informe, el flujo hacia arriba será llamado Efecto Columna Normal, y el flujo de aire hacia abajo será llamado Efecto Columna Inverso, tal como se ilustra en la figura 3.4.

La mayoría de las columnas de aire en los edificios tienen un área transversal relativamente grande, y para la mayor parte de los flujos que son inducidos por el efecto columna, las pérdidas por la fricción son despreciables en comparación con las diferencias de presiones debido a la flotación.

Entonces, la presión en una columna de aire se debe a las fuerzas estáticas del fluido y puede ser expresada como:

$$dP_s = -\rho_s g dz \quad (3.17)$$

donde:

P_s : presión del aire dentro de la columna

g : aceleración de la gravedad.

z : elevación.

ρ_s : densidad del gas dentro de la columna.

Nota: Las flechas indican la dirección del movimiento del aire.

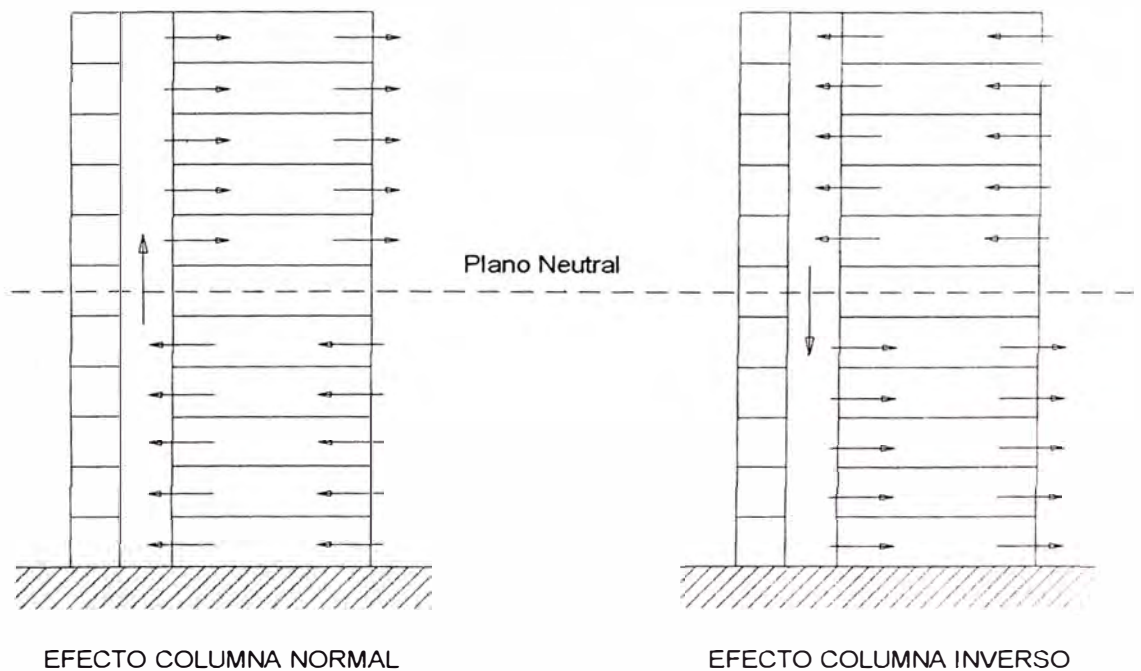


Figura 3.4 Movimiento del aire debido al efecto columna normal e inverso

La aceleración de la gravedad puede ser considerada constante, y la densidad es constante respecto a la elevación, entonces integrando la ecuación (3.17) tenemos:

$$P_s = P_a - \rho_s g z \quad (3.18)$$

Donde P_a es la presión en la elevación $z = 0$. Para simplificar el análisis, se ha elegido un sistema de coordenadas verticales tal que el origen de dicho sistema este ubicado en el nivel del *plano neutro*, el cual es el lugar geométrico en donde la presión dentro de la columna del edificio P_s y la presión fuera del edificio P_o son iguales ($P_s = P_o = P_a$). En ausencia de efectos del viento, la presión fuera del edificio (al exterior), P_o , es:

$$P_o = P_a - \rho_o g z \quad (3.19)$$

Donde ρ_o es la densidad del aire exterior.

Las presiones dentro de la columna y fuera del edificio, así como las diferencias de presiones, son ilustradas gráficamente en la figura 3.5 para el efecto columna normal.

La diferencia de presión, ΔP_{so} , entre la escalera y el exterior es expresada como:

$$\Delta P_{so} = P_s - P_o = (\rho_o - \rho_s) \cdot g \cdot z \quad (3.20)$$

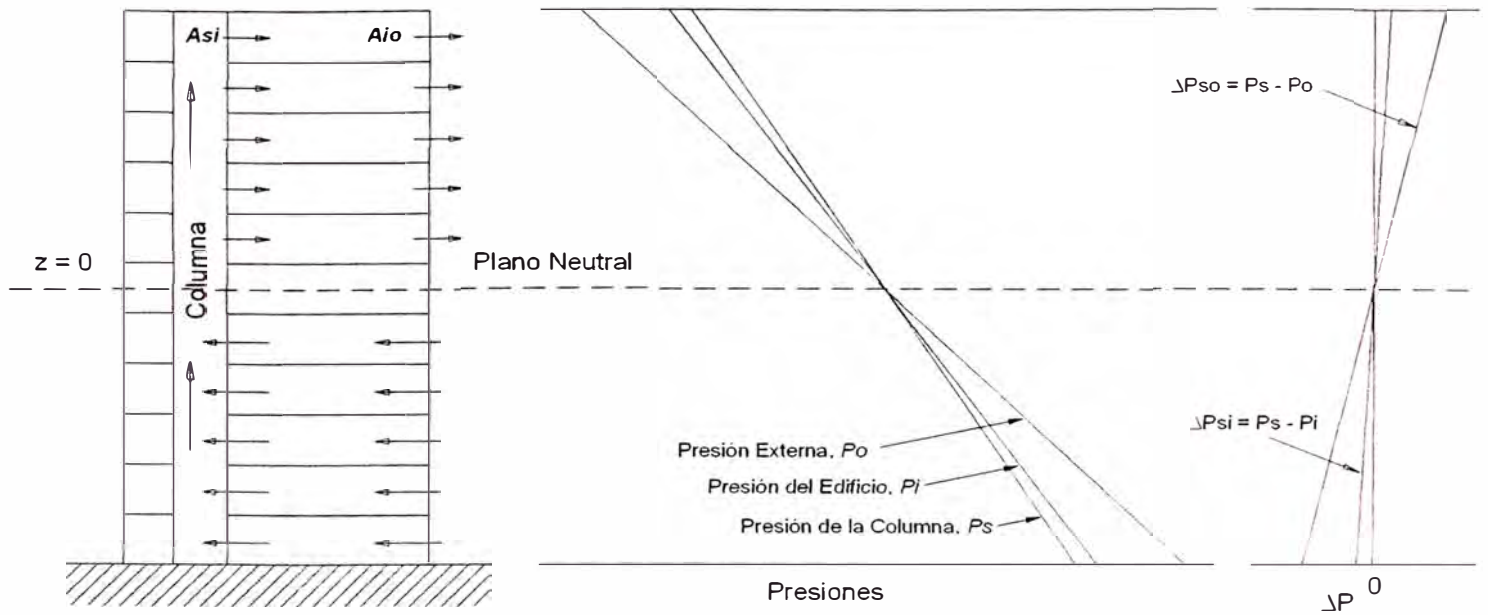


Figura 3.5 Presión y diferencia de presiones ocurridas durante el efecto columna normal

Como la variación de la presión dentro del edificio es muy pequeña comparada con la presión atmosférica, la presión atmosférica, P_{atm} , puede ser usada para calcular la densidad, utilizando la ley de los gases ideales:

$$\rho = \frac{P_{atm}}{RT} \quad (3.21)$$

donde:

- ρ = densidad del aire,
- P_{atm} = presión atmosférica absoluta,
- R = constante universal de los gases,
- T = temperatura absoluta del aire.

Sustituyendo la ecuación (3.21) en la ecuación (3.20) y rescribiendo el resultado tenemos la siguiente expresión:

$$\Delta P_{SO} = \frac{g P_{atm}}{R} \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_s} \right) \cdot z \quad (3.22)$$

donde:

T_o = temperatura absoluta del aire externo,

T_s = temperatura absoluta del aire al interior de la columna.

El plano neutral es un plano horizontal localizado en $z = 0$, donde la presión interna al edificio es igual a la externa, tal como se afirmó anteriormente. Si la localización del plano neutral es conocida, esta ecuación puede ser usada para determinar la diferencia de presión entre el interior y el exterior, independientemente de la variación de la infiltración o de la presencia de otras columnas de aire en el edificio. Métodos para determinar la localización del plano neutral serán discutidos mas adelante.

Para la presión atmosférica estándar del aire, la ecuación (3.22) se convierte en:

$$\Delta P_{SO} = K_s \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_s} \right) z \quad (3.23)$$

donde:

ΔP_{so} = diferencia de presión de la columna al exterior, pulg. H_2O

T_o = temperatura absoluta del aire.

T_s = temperatura absoluta del aire al interior de la columna.

z = distancia respecto al plano neutral.

K_s = coeficiente.

Para el edificio ilustrado en la figura 3.5, se considera que todo el flujo vertical del aire está en la columna. Realmente, entre los pisos de los edificios reales existe infiltración, y por lo tanto existe flujo a través de estos pisos. La discusión del efecto columna hasta este momento ha sido en una forma general, y esto aplica a edificios con o sin infiltración a través de los pisos. Para analizar las diferencias de presión entre los pisos del edificio, el modelo de edificio idealizado es usado, el cual es aquel que no tiene infiltración entre los pisos. Para edificios normales, el flujo a través de los pisos es mucho más pequeño que a través de las columnas.

El siguiente análisis desarrolla algunas ecuaciones basadas en esta idealización de infiltración cero entre los pisos.

Según el concepto de área efectiva, para la figura 3.5, tenemos el área efectiva por cada piso:

$$A_e = \left(\frac{1}{A_{si}^2} + \frac{1}{A_{io}^2} \right)^{-1/2} \quad (3.24)$$

donde:

A_e = área efectiva de flujo entre la columna y el exterior.

A_{si} = área de flujo por piso entre la columna y el edificio.

A_{io} = área de flujo por piso entre el edificio y el exterior.

La razón del flujo de masa, \dot{m} , en un piso puede ser expresado como:

$$m = C \cdot A_e (2 \cdot \rho \cdot \Delta P_{so})^{1/2} \quad (3.25)$$

Donde C es un coeficiente de flujo adimensional que está generalmente en el rango de 0.6 a 0.7.

Para arreglos en serie, podemos deducir lo siguiente:

$$\Delta P_{si} = \Delta P_{so} \left(\frac{A_e}{A_{si}} \right)^2 \quad (3.26)$$

Sustituyendo esta relación en la ecuación (3.24) y reordenando, el área efectiva es eliminada, teniendo lo siguiente:

$$\Delta P_{si} = \frac{\Delta P_{so}}{1 + (A_{si} / A_{io})^2} \quad (3.27)$$

En general, el radio A_{si}/A_{io} varía de 1.7 a 7. Las diferencias de presiones entre una columna de aire y el interior del edificio son mucho menores que entre la columna y el exterior del edificio.

En el evento en que muchas ventanas del piso donde se produzca un incendio se rompan debido al fuego, el valor de A_{io} toma un valor muy grande en el piso siniestrado. Cuando esto pasa, el radio A_{si}/A_{io} toma un valor muy pequeño y ΔP_{si} se aproxima a ΔP_{so} . Entonces, cuando un gran número de ventanas se rompe en el piso del incendio, la presión desde la columna al edificio es casi la misma que la de la columna al exterior.

El desarrollo de la ecuación (3.27) considera que la diferencia de presión es uniforme con la altura en cada piso, lo cual introduce un error. El máximo valor del error puede ser calculado por la ecuación (3.22) para un valor de altura igual a la distancia entre pisos. Si la altura de cada piso fuera de 10 pies (3.10 m) el máximo error de la ecuación (3.27) fuese de 0.01" C.A. En general, este error no es significativo y se puede despreciar.

La ecuación (3.27) puede ser reescrita para la presión P_i , en el espacio del edificio:

$$P_i = P_s - \frac{\Delta P_{so}}{1 + (A_{si} / A_{to})^2} \quad (3.28)$$

Mediciones de presión en algunos edificios (Tamura & Wilson 1966) verifican la teoría del efecto columna presentada arriba para condiciones encontradas en el campo. Además, estos estudios muestran que la idealización de infiltración cero entre pisos generalmente es apropiada para determinar diferencias de presiones en edificios debido al efecto columna. Adicionalmente, Tamura & Klote (1988) han conducido experimentos a full escala del efecto columna en un edificio canadiense de 10 pisos, los cuales verifican la teoría del efecto columna para rangos de temperaturas y condiciones de infiltración que se consideraron representativos para muchos edificios.

3.4. Ubicación del plano neutral

Como ya se indicó anteriormente, el plano neutral es el lugar geométrico donde la presión en la columna de aire, la presión en el interior del edificio y la presión externa son iguales en valor.

El método para localizar el plano neutral va a ser descrito para una columna simple conectada al exterior solamente. Los métodos de área efectiva de flujo pueden ser usados para extender este análisis a edificios.

Usando estas ubicaciones del plano neutral, el caudal y las presiones a través de un edificio pueden ser evaluados.

3.4.1. Columna con una abertura continua

El flujo y las presiones del efecto columna normal, en una columna conectada al exterior por una abertura continua con un ancho constante desde la parte inferior hasta la superior, es tal como se muestra en la figura 3.6.

El siguiente análisis del flujo, que da como resultado la localización del plano neutral, fue desarrollado por McGuire and Tamura (1975).

Para obtener la razón del flujo de masa en la columna, esta ecuación puede ser integrada desde el plano neutral ($h = 0$) hasta la base de la columna ($h = -H_n$), en donde tenemos:

$$\dot{m}_{in} = \frac{2}{3} C A' H_n^{3/2} \sqrt{2 \rho_o b} \quad (3.30)$$

De una manera similar, una ecuación se puede desarrollar para el flujo sobre el plano neutral (flujo que sale de la columna), donde H es la altura total de la columna:

$$\dot{m}_{out} = \frac{2}{3} C A' (H - H_n)^{3/2} \sqrt{2 \rho_o b} \quad (3.31)$$

Para continuidad, la razón del flujo de masa que entra a la columna es la misma de la que sale. Igualando las ecuaciones (3.30) y (3.31), simplificando términos, reordenando y sustituyendo la ecuación 3.21 obtenemos:

$$\frac{H_n}{H} = \frac{1}{1 + (T_s/T_o)^{1/3}} \quad (3.32)$$

Donde:

H_n = distancia desde la base de la columna al plano neutral.

H = altura de la columna.

T_s = Temperatura absoluta del aire en la columna

T_o = Temperatura absoluta del aire externo

3.5. Infiltración y ventilación

Los conceptos de infiltración y ventilación en un edificio, especialmente en los de gran altura, son muy importantes, tanto para el ahorro de energía, así como para mantener un ambiente sano en edificio y evitar el llamado “síndrome del edificio enfermo”.

La infiltración es aquel ingreso o salida de aire desde el edificio al exterior o viceversa, por medio de las ranuras de las puertas o ventanas, así como por las grietas propias de las paredes o techos.

Este fenómeno de infiltración, no es controlado, y principalmente se produce por una diferencia de presión entre el edificio y el exterior, que es generada por algunas fuerzas en el aire que se presentan en forma natural en el interior o exterior del edificio, tal como el efecto columna o el efecto viento, o por la acción misma de algún sistema de HVAC implementado en el edificio.

Este fenómeno de infiltración normalmente es perjudicial para el ahorro energético del edificio, ya que muchas veces la infiltración no es considerada en los cálculos de carga térmica para evaluar el sistema de aire acondicionado o de calefacción, lo cual a la hora de la puesta en marcha del equipo de HVAC, este ingreso de aire frío o caliente del exterior hacia el edificio, influye en la carga térmica real haciendo que el equipo no enfríe o caliente en forma adecuada, operando mas tiempo de lo estimado y por consecuencia gastando mas energía de la prevista.

Por lo tanto, al momento de la construcción de un edificio, por el tema de ahorro energético, es necesario que las infiltraciones del o hacia el exterior sean las mínimas posibles.

Contraria a la infiltración, es la ventilación, la cual muchas veces es forzada por algún equipo HVAC, y que por lo tanto es un ingreso o salida de aire controlado.

Esta ventilación es necesaria, ya que es utilizada para evacuar aire viciado del edificio y/o ingresar aire fresco externo hacia el interior del mismo, logrando así un ambiente sano y limpio en el edificio y evitando algunas enfermedades o un mal ambiente de trabajo.

La carga térmica adicional que proviene de la ventilación siempre está considerada dentro de los cálculos del proyectista, y que por lo tanto el equipo o equipos HVAC funcionaran según lo previsto, logrando así un consumo de energía controlado.

CAPITULO 4

PRINCIPIOS Y MÉTODOS ANALÍTICOS

4.1. El Manejo o Control del humo

El término de manejo o control del humo es aplicado para incluir los métodos que pueden ser usados, en forma independiente o con una combinación de ellos, para modificar el movimiento del humo en caso de un incendio en un edificio, ya sea para el beneficio de los ocupantes, para facilitar las labores de los bomberos, o para disminuir los daños materiales que se pudieran ocasionar.

Las barreras corta humos y los vanos ventilados son métodos tradicionales que han sido utilizados para controlar el flujo del humo en el caso de un incendio. La efectividad de las barreras corta fuego o humos está limitada a que estas estén libres de algunas ranuras por donde el humo pueda infiltrarse. Los vanos ventilados están limitados a que el humo sea lo suficientemente ligero para vencer alguna otra fuerza que se pueda presentar.

En las últimas décadas, los ventiladores mecánicos han sido empleados con la intención de vencer estas limitaciones de los métodos tradicionales.

Los mecanismos de compartimientos, dilución, presurización y el flujo de aire son usados por si mismos o combinados para controlar el humo en situación de fuego.

4.1.1. Compartimentación

Las barreras con una suficiente resistencia al fuego para mantener una exposición total al fuego tienen una larga historia de proveer protección contra la propagación del fuego.

La compartimentación como las paredes, divisiones, pisos, puertas y otras barreras proveen algún nivel de protección contra el humo a espacios remotos al incendio. Muchos códigos o normas, tal como el capítulo 8 de la norma NFPA 101 (Code for safety to Life from Fire in Buildings and Structures), indican los criterios específicos para la construcción de barreras corta humos incluyendo a las puertas y dampers.

La magnitud de las infiltraciones del humo a través de estas barreras depende del tamaño y de la forma de las ranuras de infiltración y la diferencia de presión a través de estas ranuras.

No hay un método analítico formal para determinar la razón de la infiltración del humo a través de estas barreras y el resultado de los niveles de peligro en las áreas a ser protegidas.

4.1.2. Dilución o extracción Remota del Humo

La dilución remota del humo puede ser referida también como la extracción del humo, remoción del humo o purga del humo. La dilución puede ser usada para mantener una concentración aceptable de gas y partículas en un compartimiento sujeto a infiltración del humo desde un espacio adyacente. Esto puede ser efectivo si la razón de la infiltración del humo es pequeña comparada con el volumen total del espacio o con la razón de extracción del aire desde en el espacio.

También la dilución puede ser muy beneficiosa para el ambiente donde se ha producido el fuego, ya que después de que se ha extinguido el fuego, se puede remover el humo restante.

4.1.3. Presurización

Sistemas usando presurización producida por ventiladores mecánicos son referidos como sistemas de control de humo en la norma NFPA 92A.

Una diferencia de presión a través de una barrera puede controlar el movimiento del humo, tal como es ilustrado en la figura 4.1. En este caso la barrera es una puerta. El lado de alta presión de la puerta puede ser también un área de refugio o una ruta de escape. El lado de baja presión es expuesto al humo del fuego. Un flujo de aire a

través de las ranuras alrededor de la puerta y a través de las grietas de la construcción previene la infiltración del humo en el lado de alta presión. Cuando la puerta es abierta, se produce un flujo de aire a través de esta puerta abierta. Cuando la velocidad del aire es baja, el humo puede fluir contra el flujo del aire dentro del área de refugio o ruta de escape, tal como lo muestra la figura 4.2. Este flujo de retorno del humo puede ser prevenido si la velocidad del aire es lo suficientemente grande, tal como lo muestra la figura 4.3. La magnitud de la velocidad necesaria para prevenir el flujo de retorno del humo dependerá de la energía liberada en el incendio. Los dos principios del control del humo pueden ser indicados como sigue:

- Aire a diferentes presiones a través de las barreras puede actuar para controlar el movimiento del humo.
- Flujo de aire por si mismo puede controlar el movimiento del humo si la velocidad promedio del aire es de una magnitud suficiente.

La presurización genera un flujo de aire de alta velocidad en pequeñas ranuras alrededor de puertas cerradas y en grietas de construcción, por consiguiente se previene retorno del humo a través de estas aberturas.

Por lo tanto, en un estricto sentido físico, los dos principios son enunciados equivalentes. Sin embargo, considerando los principios en forma separada es más ventajoso para discutir las opciones de

diseño del sistema de control del humo. Para una barrera con uno o más aberturas grandes, la velocidad del aire es la cantidad física apropiada para el diseño y la medición.

Sin embargo, cuando hay solo pequeñas ranuras o grietas, tal como las que existen alrededor de las puertas, usar la velocidad del aire es impráctico. En este caso, la cantidad física apropiada es la diferencia de presiones.

Considerando los dos principios por separado se tiene la ventaja adicional de enfatizar las diferentes consideraciones que es necesario ser dadas para la apertura y cierre de puertas.

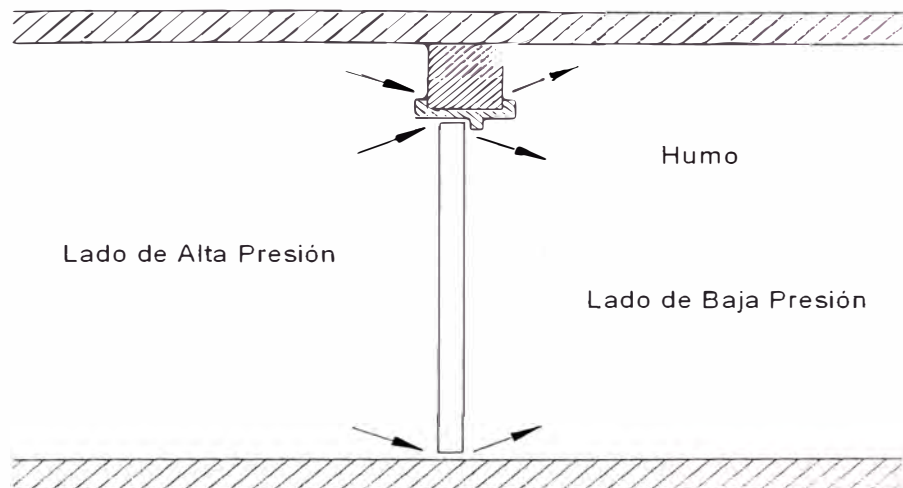


Figura 4.1 Diferencia de presión a través de una barrera previene la infiltración del humo

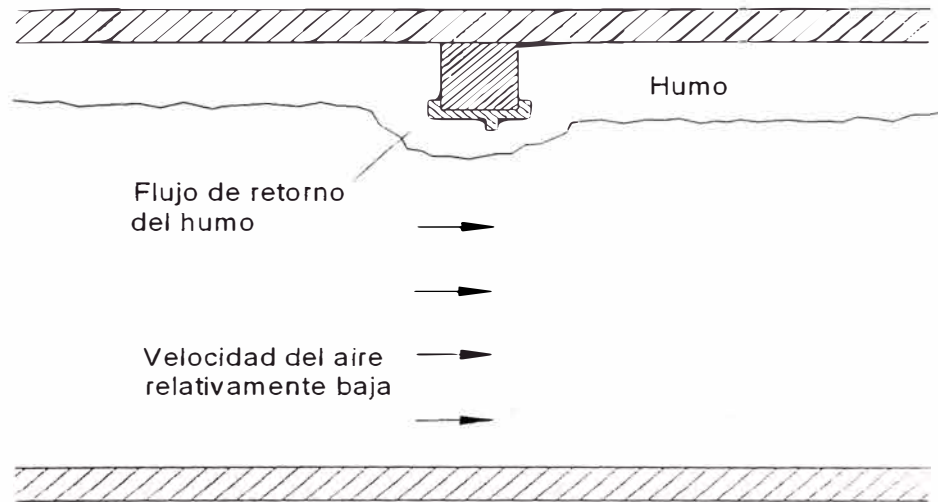


Figura 4.2 Retorno del humo contra la baja velocidad del aire a través de una abertura de la puerta.

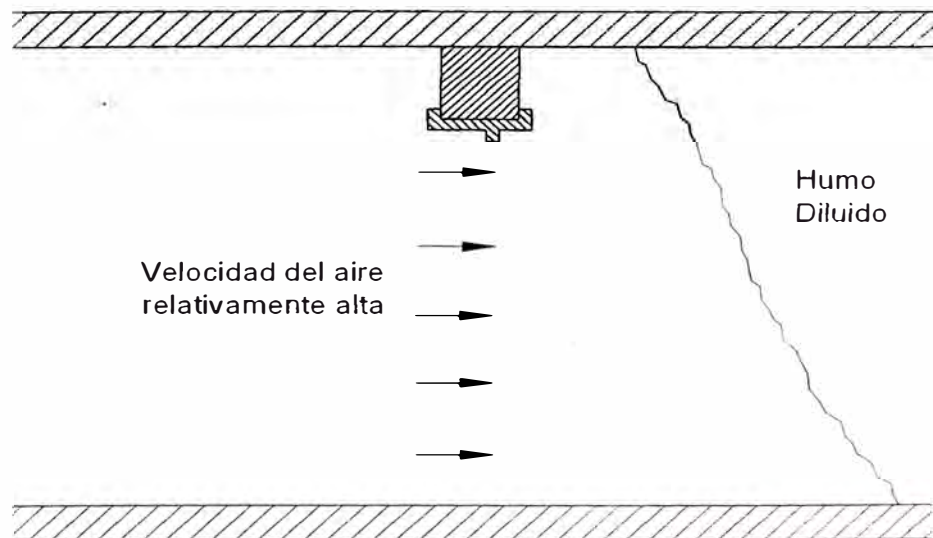


Figura 4.3 No se produce retorno del humo con una alta velocidad del aire a través de una abertura de la puerta.

4.1.4. Flujo de aire

El flujo de aire ha sido usado extensivamente para controlar el humo de incendios en metros, túneles de ferrocarriles y túneles de autopistas. Flujos grandes de aire son necesarios para controlar el flujo del humo y este flujo también puede suministrar oxígeno adicional al fuego.

A causa de la necesidad de controles complejos, el flujo de aire no es usado tan extensivamente en edificios. El problema de control consiste en tener flujos muy pequeños cuando una puerta está cerrada y luego tener un incremento significativo de estos flujos cuando la puerta es abierta.

Además, una mayor preocupación es que el flujo de aire suministra oxígeno al fuego.

4.2. Análisis del flujo de aire y la diferencia de presión

En una grieta, ranura u otra apertura, en donde se experimenta una diferencia de presión a través de ellas, se generará un flujo desde el lado de mayor presión al de menor presión.

Muchas ecuaciones han sido desarrolladas para relacionar el flujo de fluidos y la diferencia de presión con énfasis en el flujo de aire y del humo en edificios.

El flujo a través de una grieta u otra abertura puede ser representada por una función general tal como:

$$Q = f(\Delta P) \quad (4.1)$$

donde:

- Q = Caudal a través de la apertura,
 ΔP = Diferencia de presión a través de la abertura;
 f = Relación funcional general.

La función f depende de la geometría de la abertura y del número de Reynolds. El número de Reynolds se define por:

$$Re = \frac{D_h V}{\nu} \quad (4.2)$$

donde:

- Re = Número de Reynolds, adimensional,
 D_h = Diámetro hidráulico del trayecto del flujo,
 V = Velocidad promedio en el trayecto del flujo,
 ν = Viscosidad Cinemática.

La definición del diámetro hidráulico es:

$$D_h = \frac{4S}{P_w} \quad (4.3)$$

donde:

- D_h = Diámetro hidráulico;
 S = Área de la sección del trayecto del flujo.
 P_w = Perímetro mojado por el flujo.

4.2.1. Flujo dominado por fuerzas dinámicas

Para un número grande de Reynolds, el flujo es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la diferencia de presión a través de la trayectoria del flujo:

$$Q = C A \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}} \quad (4.4)$$

donde:

Q	=	Caudal del flujo
C	=	Coeficiente de flujo
A	=	Área de flujo
ΔP	=	Diferencia de presión
ρ	=	Densidad del gas

Las fuerzas dinámicas dominan el flujo con Reynolds mayores a 2000 o 4000, dependiendo de la geometría de la trayectoria. En estos números grandes de Reynolds, el flujo se convierte a turbulento. En un flujo turbulento, la velocidad en un punto dado fluctúa rápidamente de una manera aparentemente aleatoria.

La ecuación (4.4) ha sido aplicada extensivamente en flujómetros tipo orificio, que esta a veces es llamada como la ecuación "orificio".

Sin embargo, está ecuación es también comúnmente usada para el análisis del flujo de aire en edificios y para el análisis de sistemas de control de humo.

Ya que la ecuación (4.4) está basada en la ecuación de Bernoulli, esta es aplicable estrictamente para flujos estables, sin fricción e incompresibles. Sin embargo, el coeficiente de flujo es introducido para adicionar las pérdidas por la fricción debido a la viscosidad. El coeficiente de flujo depende del número de Reynolds y de la geometría de la trayectoria del flujo. En el contexto de flujos a través de ranuras alrededor de las puertas y de grietas de construcciones, el coeficiente está generalmente en el rango de 0.6 a 0.7.

4.2.2. Flujo dominado por fuerzas viscosas

Para números de Reynolds bajos, el flujo es directamente proporcional a la caída de presión. Fuerzas viscosas dominan el flujo con números de Reynolds bajos los 100 a 1,000, dependiendo en particular a la geometría de la trayectoria.

El flujo plano de Poiseuille es una solución exacta a las ecuaciones de Navier- Stokes para el flujo de un fluido viscoso entre dos planos paralelos e infinitamente largos. La distribución de la velocidad entre estos planos es parabólica, como se ilustra en la figura 4.4. La velocidad del fluido solo varía en la dirección perpendicular al flujo, y este tipo de flujo se denomina como Flujo Laminar. La velocidad promedio, V , para el flujo plano de Poiseuille es proporcional a la pérdida de presión (dP/dx):

$$V = -\frac{a^2}{12\mu} \frac{dP}{dx} \quad (4.5)$$

Donde:

a = distancia entre planos (ancho de la ranura)

μ = viscosidad absoluta

P = presión

Las ranuras reales en edificios no son infinitamente largas, y alguna distancia es necesaria para que el perfil del flujo parabólico sea estable o se desarrolle completamente.

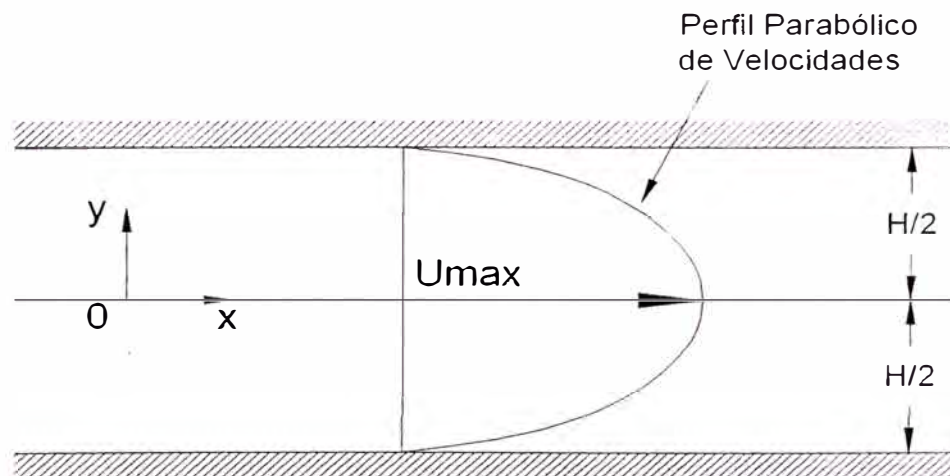


Figura 4.4 Perfil parabólico de la velocidad para el flujo de Poiseuille entre dos planos paralelos

Las pérdidas de presión (dP/dx) sobre la longitud de entrada son mayores que las presentadas en el flujo parabólico totalmente desarrollado. Además, hay pérdidas en la entrada y salida debido a otros flujos fuera de la ranura. Estas desviaciones del flujo plano de Poiseuille pueden ser significantes y son tomadas en cuenta en los análisis presentados más adelante.

4.2.3. Ecuación exponencial del flujo

Con la finalidad de adecuar los flujos que están entre los dominados viscosos y los dominados cinéticos, la siguiente relación exponencial ha sido usada extensivamente en el análisis de flujos de aire:

$$Q = C_e (\Delta P)^n \quad (4.6)$$

Donde:

Q = flujo volumétrico

C_e = coeficiente de flujo exponencial

ΔP = diferencia de presión a través de la ranura

n = exponente de flujo

Como se esperaría de lo citado anteriormente, el exponente de flujo, n, variará de 0.5 a 1. La ecuación (4.6) solo aproxima la relación entre el flujo y la diferencia de presión, y los valores de C_e y n, depende del rango de ΔP. Esta ecuación ha resultado ser útil para la evaluación de flujos a través de muchas grietas pequeñas en edificios para valores bajos de la diferencia de presión. Sin embargo, esta ecuación no está directamente relacionada con la geometría de la trayectoria del flujo, como es la ecuación (4.4). Los valores de C_e para trayectorias de flujo particulares deberán ser determinados empíricamente.

4.2.4. Flujo a través de ranuras

Gross y Haberman (1988) desarrollaron un método para determinar la infiltración a través de las aberturas de diferentes geometrías, basado en datos experimentales de algunos investigadores anteriores. Se desarrollo relaciones funcionales entre los siguientes dos grupos adimensionales:

$$NQ = \text{Re} \left(\frac{a}{x} \right) \quad (4.7)$$

$$NP = \frac{\Delta P D_h^2}{\rho v^2} \left(\frac{D_h}{x} \right)^2 \quad (4.8)$$

Donde:

- NQ = Flujo adimensional
- NP = Diferencia de presión adimensional
- Re = Número de Reynolds
- a = ancho de la ranura en dirección perpendicular al flujo
- x = profundidad de la ranura en dirección del flujo
- ΔP = diferencia de presión a través de la ranura
- D_h = diámetro hidráulico, $D_h = 2a$
- ρ = densidad del gas en la ranura
- v = viscosidad cinemática.

Gross y Haberman usaron un método analítico de Miller y Han (1971) para totalizar las pérdidas de presión en la región entrante antes del flujo totalmente desarrollado en una ranura estrecha. Su relación para el flujo versus la diferencia presión es mostrada en la figura 4.5.

Tres regiones de flujo a través de ranuras fueron identificadas, y las ecuaciones para estas regiones son:

Región 1 (viscosidad dominante – para $NP \leq 250$)

$$NQ = 0.01042 NP \quad (4.9)$$

Región 2 (transición – para $250 < NP < 10^6$)

$$NQ = 0.016984 NP^\alpha \quad (4.10)$$

$$\text{donde } \alpha = 1.01746 - 0.044181 \log_{10}(NP)$$

Región 3 (cinética dominante – para $NP \geq 10^6$)

$$NQ = 0.555 NP^{1/2} \quad (4.11)$$

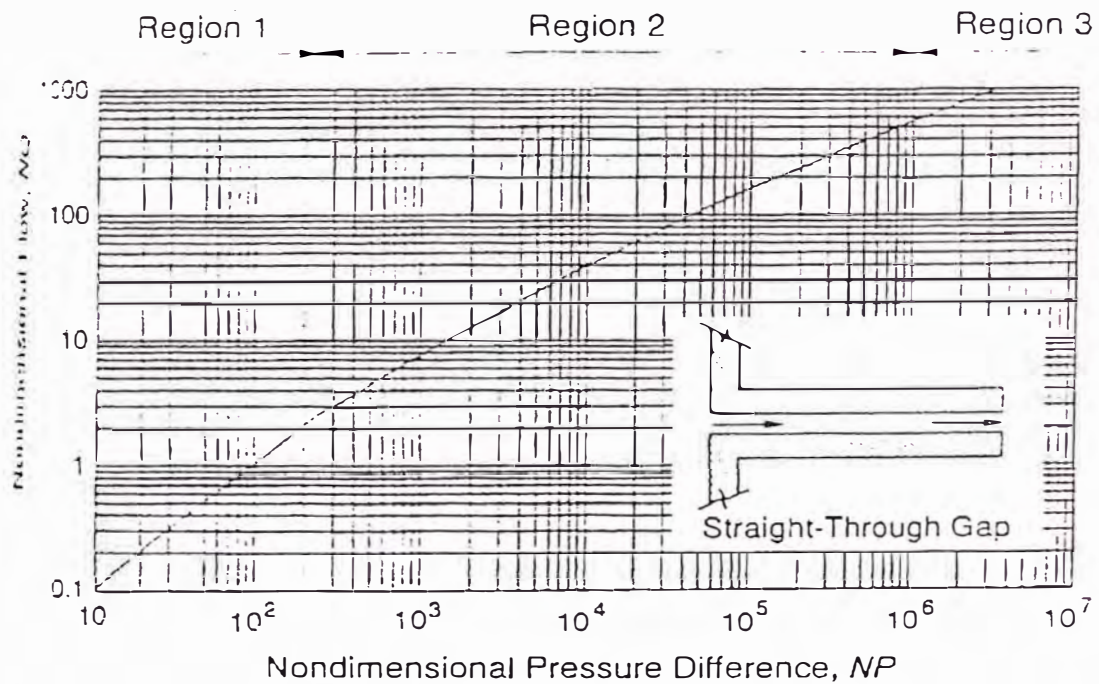


Figura 4.5 Relación entre el flujo y la diferencia de presión para ranuras estrechas.

Las ecuaciones para la Región 1 y 3 fueron desarrolladas por Gross y Haberman, y los exponentes son como lo previsto considerando que la región 1 es dominada por fuerzas viscosas y la región 3 es dominada por fuerzas cinéticas. La región 2 es una transición entre las otras dos regiones. El análisis de Gross y Haberman para la región 2 es complicado, y la ecuación (4.10) es una aproximación del análisis del Gross y Haberman desarrollado por Forney (1989). Las ecuaciones (4.2) y (4.7) pueden ser combinadas para obtener una relación para el flujo volumétrico a través de una ranura estrecha:

$$Q = \frac{K_q \nu x L NQ}{D_h} \quad (4.12)$$

donde:

Q	=	Flujo volumétrico
NQ	=	Flujo adimensional
x	=	Profundidad de la ranura en la dirección del flujo
D _h	=	Diámetro hidráulico
L	=	Longitud de la ranura
ν	=	Viscosidad cinemática
K _q	=	Coefficiente

Frecuentemente, las ranuras alrededor de las puertas tienen uno o más dobleces. Para uno y dos dobleces, el flujo adimensional, NP, puede ser obtenido multiplicando los valores para una ranura estrecha por factores de flujo F1 y F2. Estos factores son presentados en la tabla 4.1 y en la figura 4.6.

Nondimensional Pressure Difference NP	Flow Factor for Single-Bend Slot F_1	Flow Factor for Double-Bend Slot F_2
Less than or equal to 4000	1.000	1.000
7000	0.981	0.939
10000	0.972	0.908
15000	0.960	0.880
20000	0.952	0.862
40000	0.935	0.826
100000	0.910	0.793
200000	0.890	0.772
400000	0.872	0.742
1000000	0.848	0.720
2000000	0.827	0.700

Tabla 4.1 Factores de flujo para ranuras con uno o dos dobleces.

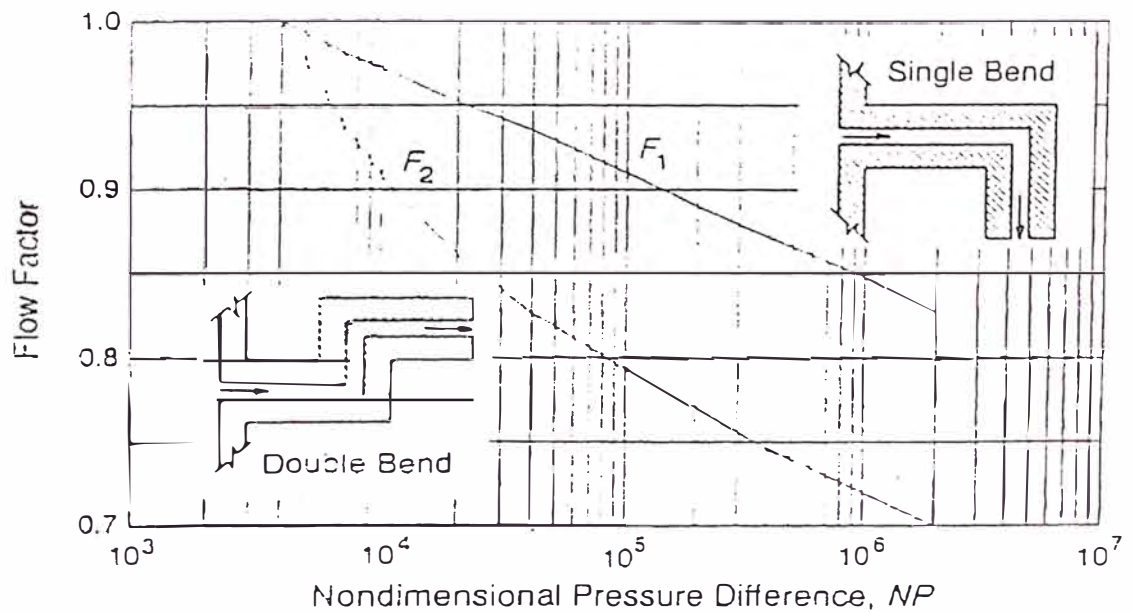


Figura 4.6 Factores de flujo para ranuras con uno o dos dobleces

4.3. Áreas de flujo

En el diseño de sistemas de control de humos, las rutas del humo deben ser identificadas y evaluadas. Algunas rutas de infiltración son obvias, tal como las ranuras alrededor de una puerta cerrada, puertas abiertas, ventanas, etc. Grietas en la construcción en las paredes y pisos del edificio son menos obvias, pero no menos importantes.

El área de flujo de aberturas muy grandes, tal como ventanas abiertas, puede ser calculada muy fácilmente. Sin embargo el área de flujo de las grietas en la construcción es más difícil de evaluar. La tabla 4.2 lista las áreas de flujo de puertas con varios tamaños de ranuras. Estas áreas de flujo son las indicadas para usarlas con la ecuación (4.8).

El área típica de infiltración de las paredes y pisos de edificios comerciales están listadas en la tabla 4.3

Para las aberturas de las puertas, Cresci (1973) halló que vórtices estacionarios se forman en la abertura de la puerta y que el resultado del flujo a través de la abertura de la puerta fue considerablemente mas baja que el flujo calculado usando el área geométrica de la abertura como el área de flujo en la ecuación (4.4). Basado en esta investigación, es recomendado que el área de flujo de una abertura de puerta de escalera sea la mitad que el área geométrica de la abertura de la puerta.

Width in. (m)	Gap Thickness at Top and Sides in. (m)	Gap Thickness at Bottom in. (m)	Flow Area ft^2 (m^2)
36 (.914)	.02 (.000508)	.02 (.000508)	.005 (.0005)
36 (.914)	.02 (.000508)	.25 (.00635)	.079 (.0073)
36 (.914)	.02 (.000508)	.50 (.0127)	.155 (.0144)
36 (.914)	.02 (.000508)	.75 (.0191)	.230 (.0214)
36 (.914)	.08 (.00203)	.25 (.00635)	.169 (.0155)
36 (.914)	.08 (.00203)	.50 (.0127)	.244 (.0227)
36 (.914)	.08 (.00203)	.75 (.0191)	.320 (.0297)
36 (.914)	.12 (.00305)	.25 (.00635)	.242 (.0223)
36 (.914)	.12 (.00305)	.50 (.0127)	.317 (.0293)
36 (.914)	.12 (.00305)	.75 (.0191)	.392 (.0364)
36 (.914)	.16 (.00406)	.25 (.00635)	.310 (.0283)
36 (.914)	.16 (.00406)	.50 (.0127)	.385 (.0358)
36 (.914)	.16 (.00406)	.75 (.0191)	.461 (.0428)
44 (1.12)	.02 (.000508)	.02 (.000508)	.005 (.0005)
44 (1.12)	.02 (.000508)	.25 (.00635)	.096 (.0089)
44 (1.12)	.02 (.000508)	.50 (.0127)	.188 (.0175)
44 (1.12)	.02 (.000508)	.75 (.0191)	.280 (.0266)
44 (1.12)	.08 (.00203)	.25 (.00635)	.186 (.0173)
44 (1.12)	.08 (.00203)	.50 (.0127)	.278 (.0258)
44 (1.12)	.08 (.00203)	.75 (.0191)	.370 (.0344)
44 (1.12)	.12 (.00305)	.25 (.00635)	.259 (.0241)
44 (1.12)	.12 (.00305)	.50 (.0127)	.351 (.0326)
44 (1.12)	.12 (.00305)	.75 (.0191)	.443 (.0412)
44 (1.12)	.16 (.00406)	.25 (.00635)	.327 (.0304)
44 (1.12)	.16 (.00406)	.50 (.0127)	.419 (.0389)
44 (1.12)	.16 (.00406)	.75 (.0191)	.511 (.0475)

¹This table is for doors 7 ft (2.13 m) high and 1.75 in. (0.0445 m) thick with a doorstop protruding 0.62 in. (0.0157 m) from the frame.

²Flow area should not be confused with the geometric area of the gaps. The flow area is for use in Equation (4.8a), and the flow area can also be used in Equation (4.8) when $C = 0.65$. The flow area was calculated from $A = (Q/CK_p)(\rho/2\Delta P)^{1/2}$ with $C = .65$, $\rho = 0.075 \text{ lb/ft}^3$ (1.20 kg/m^3), $\Delta P = 0.15 \text{ in. H}_2\text{O}$ (37.3 Pa), and Q calculated by the method of Gross and Haberman.

Tabla 4.2 Áreas de flujo de puertas

Construction Element	Tightness	Area Ratio ¹
Exterior Building Walls (includes construction cracks and cracks around windows and doors)	Tight ²	0.7×10^{-4}
	Average ²	0.21×10^{-3}
	Loose ²	0.42×10^{-3}
	Very Loose ³	0.13×10^{-2}
Stairwell Walls (includes construction cracks but not cracks around windows or doors)	Tight ⁴	0.14×10^{-4}
	Average ⁴	0.11×10^{-3}
	Loose ⁴	0.35×10^{-3}
Elevator Shaft Walls (includes construction cracks but not cracks around doors)	Tight ⁴	0.18×10^{-3}
	Average ⁴	0.84×10^{-3}
	Loose ⁴	0.18×10^{-2}
Floors (includes construction cracks and gaps around penetrations)	Tight ⁵	0.66×10^{-5}
	Average ⁶	0.52×10^{-4}
	Loose ⁵	0.17×10^{-3}

¹For 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.

²Values based on measurements of Tamura and Shaw (1976a).

³Values based on measurements of Tamura and Wilson (1966).

⁴Values based on measurements of Tamura and Shaw (1976b).

⁵Values extrapolated from average floor tightness based on range of tightness of other construction elements.

⁶Values based on measurements of Tamura and Shaw (1978).

Tabla 4.3 Áreas de infiltración típica de Paredes y Pisos de edificios comerciales.

4.4. La simetría

El concepto de simetría es usado para simplificar los problemas y por consiguiente facilitar las soluciones. La figura 4.7 ilustra la planta de un piso de un edificio que puede ser dividido en la mitad por un plano de simetría. Áreas de flujo en un lado del plano son iguales a las correspondientes áreas en el otro lado. Si los flujos y presiones son resueltos para un lado, estos en el otro lado también serán conocidos. Para aplicar la simetría a un edificio, cada piso deberá ser tal que este se pueda dividir en la misma manera por el plano de simetría. No es necesario que el que el edificio sea geoméricamente simétrico, tal como lo muestra la figura 4.7, este debe ser simétrico solo con respecto al flujo.

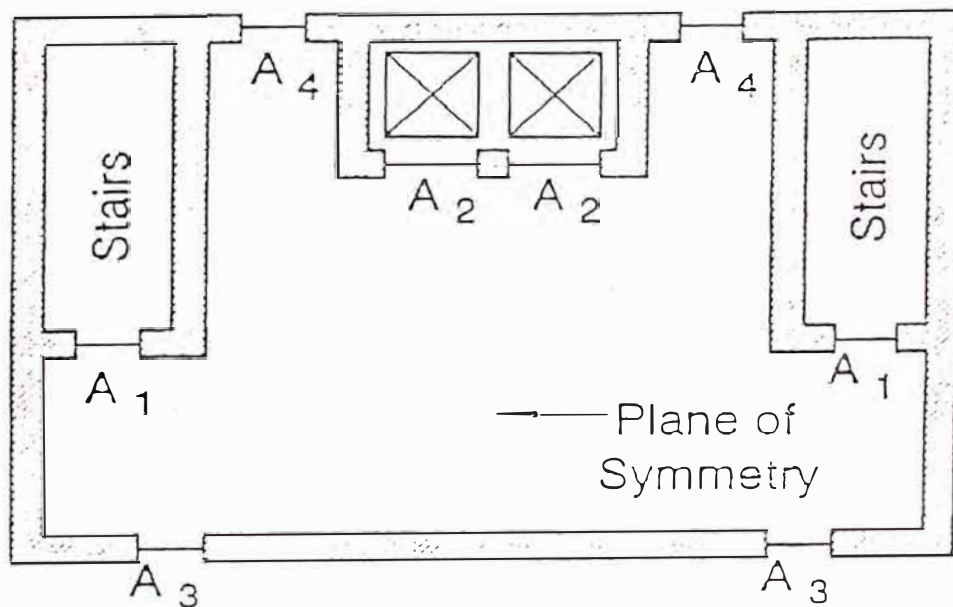


Figura 4.7 Factores de flujo para ranuras con uno o dos dobleces

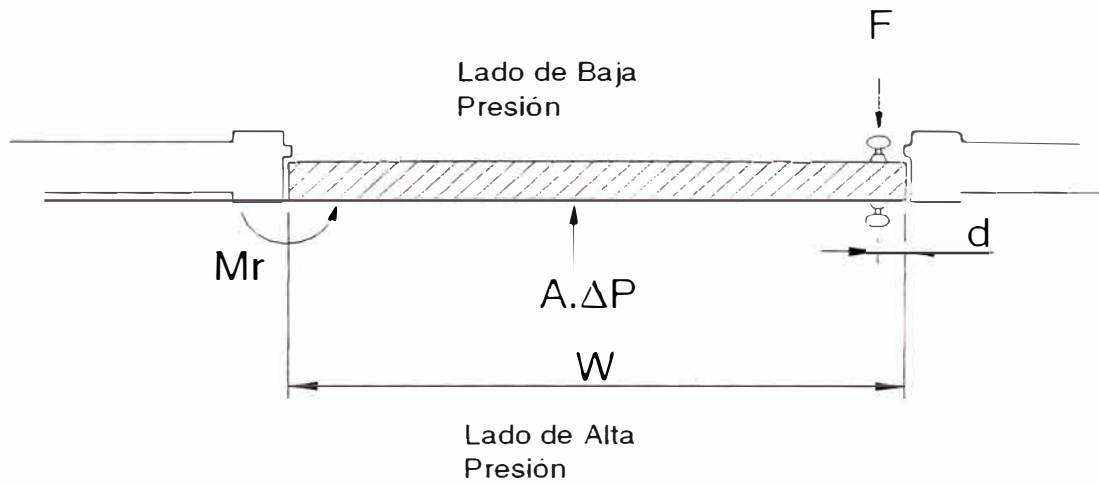


Figura 4.8 Diagrama de fuerzas en una puerta de un sistema de control de humo

La componente de la fuerza, F_r , en la manija para vencer el brazo cierra puertas y otras fricciones es:

$$F_r = M_r / (W - d) \quad (4.14)$$

Esto puede ser sustituido en la ecuación (4.13) para obtener:

$$F = F_r + \frac{W A \Delta P}{2(W - d)} \quad (4.15)$$

donde:

F = Fuerza total de apertura de puertas

F_r = Fuerza para vencer el brazo cierra puertas y otras fricciones

W = Ancho de la puerta

A = Área de la puerta

ΔP = Diferencia de presión a través de a puerta

d = Distancia desde la manija al extremo mas cercano de la puerta.

4.6. Diferencia de presiones de diseño

Es apropiado considerar una máxima y mínima diferencia de presión permisible a través de una barrera de un sistema de control de humos. Los valores planteados en esta parte son basados en las recomendaciones de la norma NFPA 92A. La diferencia de presión máxima permisible debe ser un valor que no resulte una excesiva fuerza de apertura de puertas. La fuerza que una persona en particular puede aplicar para abrir una puerta depende de la energía de la persona, la localización de la manija, el coeficiente de fricción entre el piso y los zapatos, y si es que la puerta requiere de que se empuje o se tire.

La sección 7.2.1.4.5 del Código de vida segura (Life Safety Code – NFPA 101) afirma que la fuerza requerida para abrir cualquier puerta como medio de salida no excederá las 30 lb (133 N). Para esta limitación de 30 lb (133 N) en la fuerza de apertura de puertas, las diferencias de presión máxima permisibles son listadas en la tabla 4.4. También, las diferencias de presión mínimas recomendadas, según la norma NFPA92A se muestra en la tabla 4.5.

Door-Closing Force	Door Width				
	in. (m)				
lb (N)	32 (.813)	36 (.914)	40 (1.02)	44 (1.12)	46 (1.17)
6 (26.7)	0.45 (112.)	0.40 (100.5)	0.37 (92.1)	0.34 (84.6)	0.31 (77.1)
8 (35.6)	0.41 (102.)	0.37 (92.1)	0.34 (84.5)	0.31 (77.1)	0.28 (69.7)
10 (44.5)	0.37 (92.1)	0.34 (84.5)	0.30 (74.6)	0.23 (69.7)	0.26 (64.7)
12 (53.4)	0.34 (84.5)	0.30 (74.6)	0.27 (67.2)	0.25 (62.2)	0.23 (57.2)
14 (62.3)	0.30 (74.6)	0.27 (67.2)	0.24 (59.7)	0.22 (45.7)	0.21 (52.2)

Note: Total door-opening force is 30 lb (133 N), and the door height is 7 ft (2.13 m). For other door sizes or other door-opening forces, the maximum allowable pressure difference can be calculated in the same

Tabla 4.4 Diferencia de Presión máxima permitida a través de la puerta en pulgadas de agua.

Building Type ²	Ceiling Height ft (m)	Design Pressure Difference ³ in. H ₂ O (Pa)
AS	Any	0.05 (12.4)
NS	9 (2.7)	0.10 (24.9)
NS	15 (4.6)	0.14 (34.8)
NS	21 (6.4)	0.18 (44.8)

¹For design purposes, a smoke control system should maintain these minimum pressure differences under likely conditions of stack effect or wind.

²AS for sprinklered and NS for nonsprinklered.

³The pressure difference measured between the smoke zone and adjacent spaces while the affected areas are in the smoke control mode.

Tabla 4.5 Diferencia de Presión mínima de diseño sugerida (Adaptado de NFPA 92A)

CAPITULO 5

EQUIPAMIENTO UTILIZADO EN LOS SISTEMAS DE CONTROL DE HUMOS

Un estudio realizado por la National Board of Fire Underwriters (NBFU) respecto a datos de incendios producidos en edificios desde Enero de 1936 a Abril de 1938 determinaron el alcance de los daños producidos por el humo debido a los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC). De 25 incendios registrados, en 19 hubo la combustión de partes del sistema de HVAC. Ductos, aislamientos de los ductos y filtros quemados. En cinco casos que no hubo quemaduras en el sistema de HVAC, el humo fue distribuido por este sistema. Solo en un incendio el sistema de HVAC no estuvo envuelto.

Este reporte ha tenido un principal impacto en los materiales y en la construcción de los sistemas modernos de HVAC, como es apreciado de la revisión de estándares actuales tal como NFPA 90A. El reporte recomienda que los sistemas de HVAC deban ser apagados o cerrados durante situaciones de incendio para prevenir que estos propaguen el humo y suministren aire de combustión al fuego. El cierre del sistema se convirtió en una respuesta estándar al fuego. Sin embargo, la operación de los sistemas de HVAC en un modelo de control del humo se ha convertido en una alternativa común en años recientes.

A continuación describiremos algunos tipos de sistemas de HVAC, así como el equipamiento utilizado en los sistemas de control de humos.

5.1. Sistemas de HVAC

Cuatro tipos comunes de sistemas podemos identificar en las instalaciones de aire forzado en los edificios, los cuales son:

- Sistemas de volumen constante, simple zona
- Sistemas de volumen constante con terminales de recalentamiento
- Sistemas de volumen variable (VAV)
- Sistemas con ductos duales

5.2. Ventiladores

Se podría afirmar que los ventiladores los elementos mas importantes de los sistema de HVAC, ya que es por medio de estos que el aire puede fluir de un lugar a otro. Hay dos clasificaciones mas comunes en los ventiladores. El ventilador centrífugo y el ventilador axial.

La figura 5.6 ilustra las partes básicas de un ventilador centrífugo y la figura 5.7 ilustra las partes básicas de un ventilador axial.

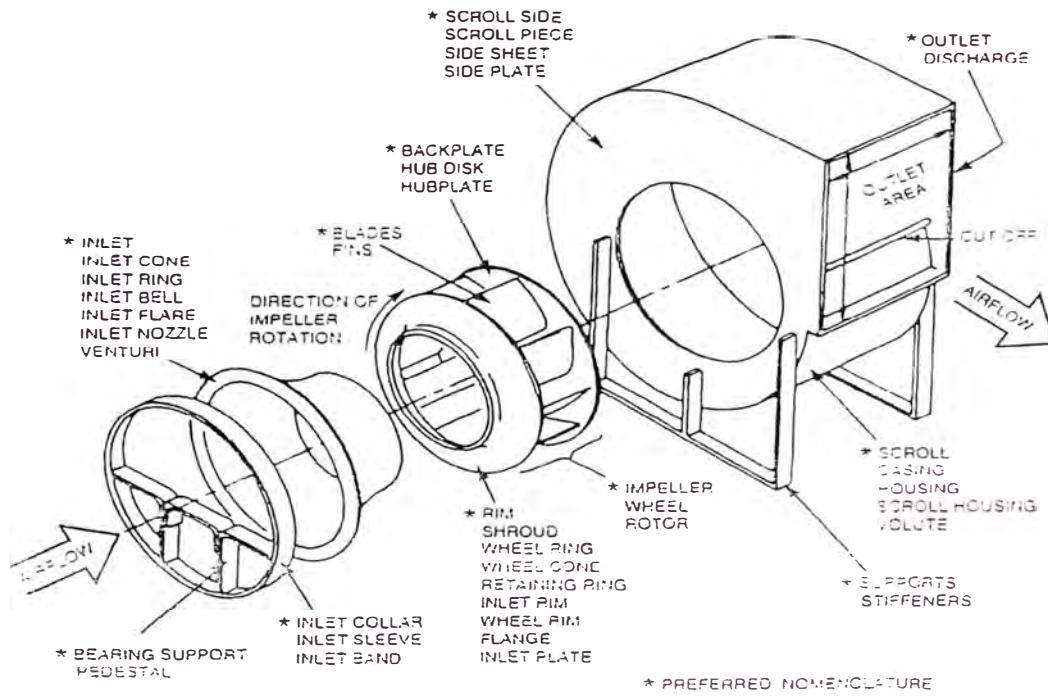


Figura 5.6 Componentes de un ventilador centrifugo

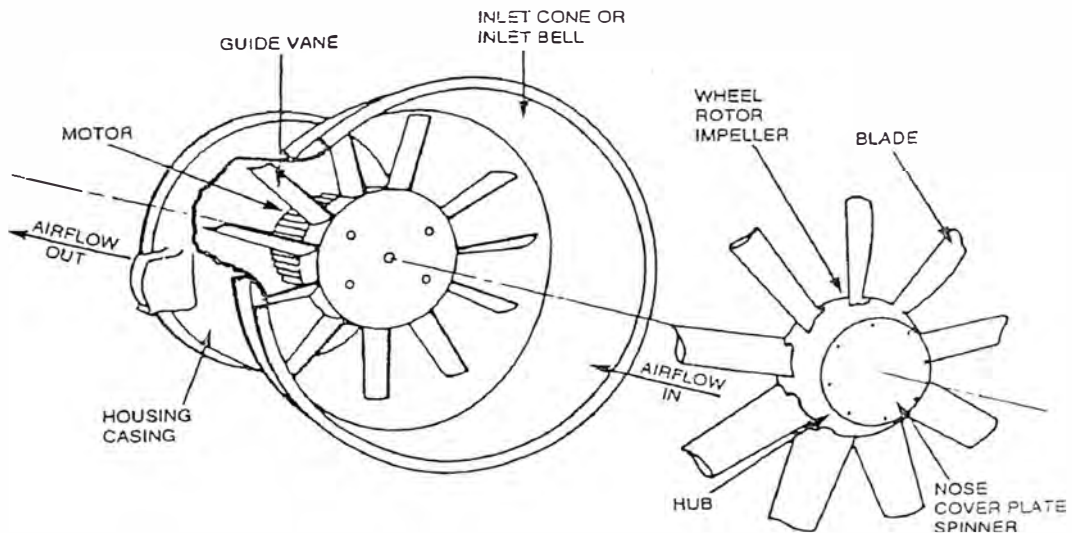


Figura 5.7 Componentes de un ventilador axial

5.2.1. Ventiladores Centrífugos

Los ventiladores usados en la industria del HVAC son generalmente clasificados por el diseño del rotor o impelente, que puede ser curvado hacia atrás, curvado hacia delante y tipo air foil. (Figura 5.8)

Los ventiladores curvados hacia adelante giran a una velocidad relativamente baja y son generalmente usados para producir un alto flujo con una baja presión estática. Una de sus ventajas de este tipo de ventilador es que el nivel de ruido producido es bajo en comparación con otro tipo de ventiladores centrífugos.

Los ventiladores curvados hacia atrás pueden rotar hasta dos veces la velocidad de los curvados hacia delante y tener una mayor eficiencia. Tanto los ventiladores curvados hacia delante como los curvados hacia atrás poseen alabes con un ancho constante.

Los ventiladores air foil son básicamente ventiladores curvados hacia atrás con alabes de espesor variable (perfil aerodinámico) para mejorar la eficiencia del ventilador.

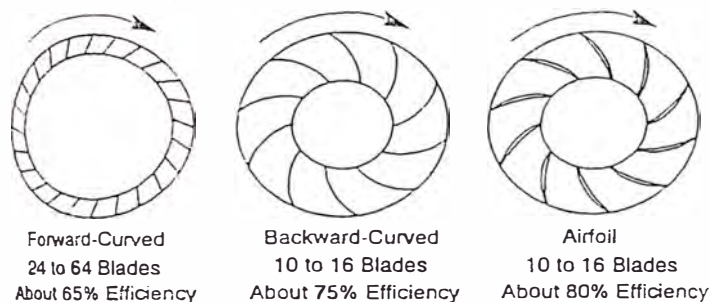


Figura 5.8 Tipo de Ventiladores Centrífugos

5.3. Dampers

En un sistema de aire forzado, los dampers son usados para:

- Balanceo del flujo de aire
- Control del flujo de aire
- Alivio para el exceso de presión
- Resistencia para el paso del fuego
- Resistencia para el paso del humo

Los dampers para el balanceo del flujo son utilizados en los ductos de suministro y retorno de un sistema de HVAC para ajustar el flujo a los valores de diseño. Estos dampers pueden ser de una construcción simple (Figura 5.9) o de una construcción compleja (Figura 5.10).

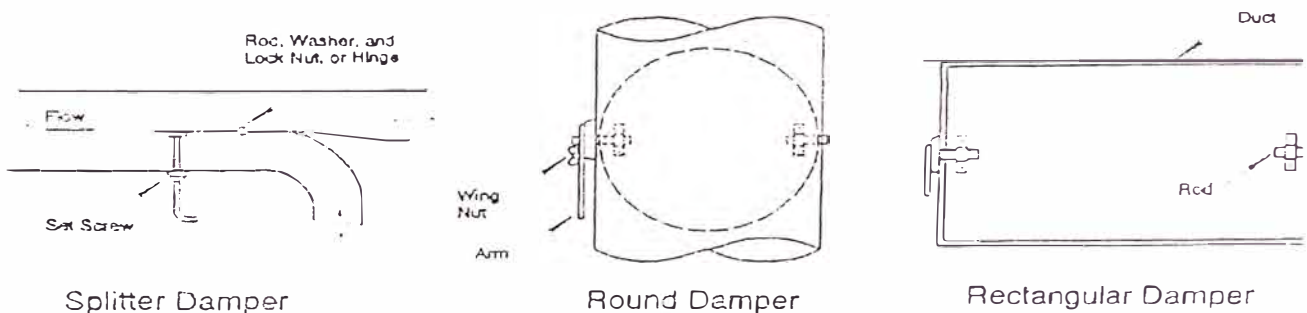


Figura 5.9 Tipos de Dampers usados para balancear el flujo de aire

Los dampers con varios alabes que operan con motores eléctricos o pistones neumáticos para variar el caudal son llamados dampers de control.

Los dampers usados para resistir o evitar el paso del fuego son llamados dampers corta fuego, y estos pueden ser de alabes múltiples (Figura 5.10) o dampers de cortina (Figura 5.11).

Los dampers usados para resistir o evitar el paso del humo son llamados dampers corta humo y estos también pueden ser de alabes múltiples o de cortina.

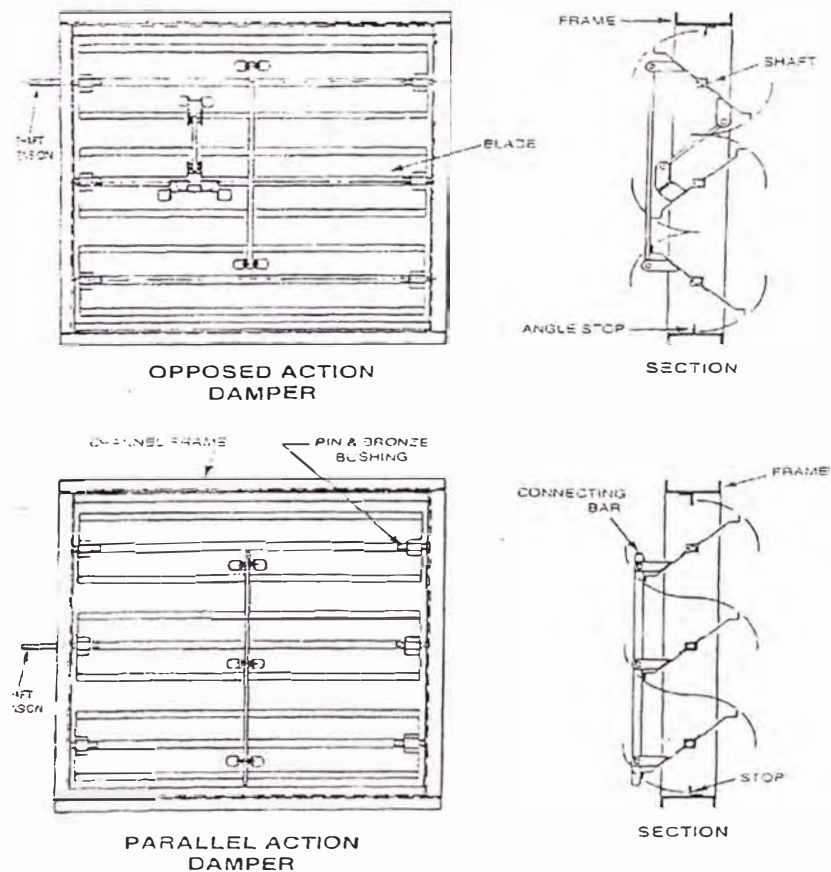


Figura 5.10 Damper de alabes múltiples

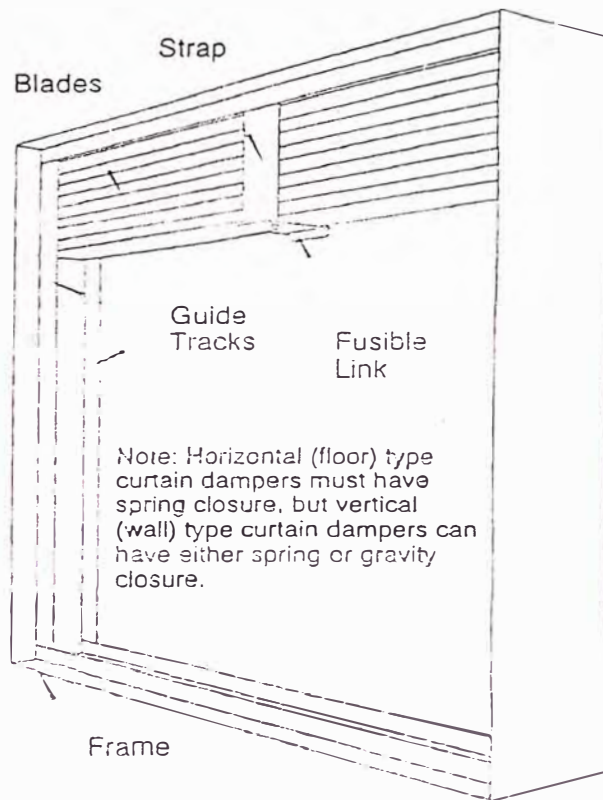


Figura 5.11 Damper de cortina

5.4. Variadores de frecuencia

Los variadores de frecuencia o variadores de velocidad son dispositivos e equipos electrónicos que varían la frecuencia de la corriente que llega a un motor eléctrico, y por lo tanto varían su velocidad de giro, con la finalidad de ahorro de energía o simplemente porque el proceso así lo requiere.

En la aplicación de los sistemas de HVAC, los variadores de velocidad están muy difundidos principalmente para controlar la operación de los ventiladores y de las bombas de agua.

Si la aplicación de controlador de un motor AC no necesita correr a toda velocidad, entonces se puede reducir los costos de energía controlando el motor con variadores de velocidad. Los controladores de velocidad permiten la partida de la velocidad del equipo y controlar de velocidad al requerimiento del proceso.

Los controladores de velocidad, y aquellos que son aplicados a las cargas, pueden generalmente ser divididos dentro de dos grupos: torque constante y torque variable. La energía ahorrada por aplicaciones de potencia o torque variable es mucho más representativa en comparación a aquellas aplicaciones por torque constante. Las cargas de torque variable incluyendo bombas centrífugas y ventiladores las cuales están compuestas en su mayoría por aplicaciones HVAC.

Las cargas de torque constante incluyen transportadoras de vibración, taladros a presión, máquinas para madera y otras aplicaciones donde el controlador sigue una razón constante V/Hz

La mayoría de los controladores de torque variable tienen capacidad PID (Capacidad Proporcional Integral y Diferencial) para aplicaciones en ventiladores y bombas, la cual permite que el controlador congele el valor del "set point" basado en la actual realimentación del proceso. Una transmisión es usada para detectar procesos variables tales como niveles de presión, tasa de flujo de líquido, tasa de flujo de aire, o nivel de líquido. Entonces la señal es enviada a un PLC, la cual comunica la realimentación del proceso al controlador. El variador de velocidad usa esta continua

realimentación para ajustarse para congelar el “setpoint”, haciendo un lazo cerrado. La figura 5.12, nos muestra un modelo de variador de velocidad, usado especialmente para los sistemas HVAC.



Figura 5.12 Variador de Frecuencia marca HONEYWELL

CAPITULO 6

APLICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE HUMOS: PRESURIZACIÓN DE ESCALERAS

Muchas escaleras presurizadas son diseñadas y construidas con el objetivo de tener una ruta de escape libre de humo en el caso de un incendio en el edificio. Un objetivo secundario es proveer una zona de estancia libre de humo para los bomberos. En el piso donde se produce el fuego, el objetivo del diseño es mantener una diferencia de presión a través de la puerta cerrada de la escalera para impedir infiltración dentro de la escalera.

Las escaleras usualmente son presurizadas por un solo ventilador exclusivo para este fin, pero más de un ventilador puede ser usado. También, un ventilador normalmente usado para otros propósitos puede usarse para presurizar la escalera en una situación del fuego. Los ventiladores de los sistemas de climatización (HVAC) han sido usados con dampers modulantes controlados por sensores estáticos de presión. Sin embargo, muchos diseñadores de control de humo consideran que los mismos ventiladores no deberían servir para ambos sistemas (presurización y sistemas HVAC)

6.1. Sistemas de presurización

6.1.1. Inyección única o Inyección múltiple

Un sistema con inyección única es aquel en donde el aire de presurización es abastecido por un solo punto de inyección. Este punto de inyección más común se encuentra en la parte superior de la escalera, como es ilustrado en la figura 6.1.

Con este sistema, hay un potencial retorno de humo hacia dentro de la escalera presurizada a través de la toma del ventilador de presurización. Por consiguiente, la capacidad de apagado automático en tal acontecimiento debería ser considerada.

Para escaleras de edificios altos, un sistema con inyección única puede fallar cuando algunas puertas cercanas al punto de inyección de aire estén abiertas.

Todo el aire de la presurización puede perderse a través de estas puertas abiertas, y el sistema entonces fallará para mantener presiones positivas a través de puertas más lejanas al punto de inyección. Para evitar esto, se limita la altura de escaleras con inyección única a ocho pisos.

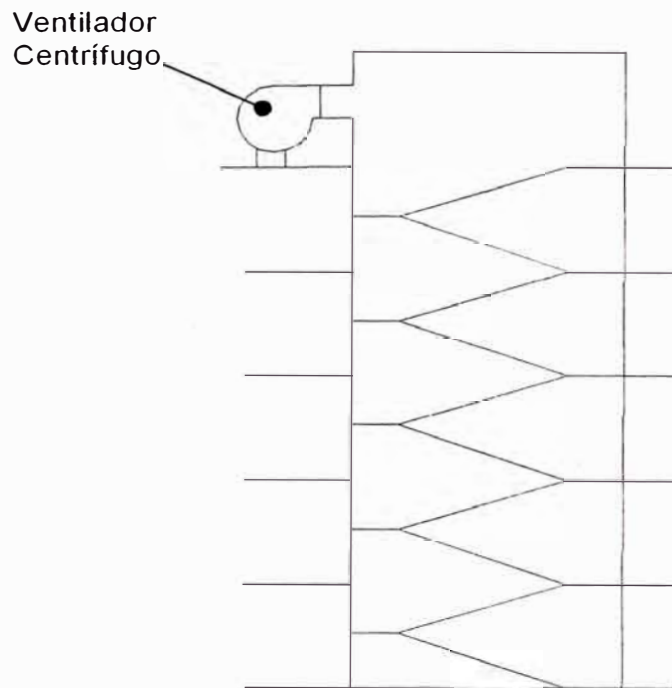


Figura 6.1 Presurización de escalera por una inyección en la parte superior.

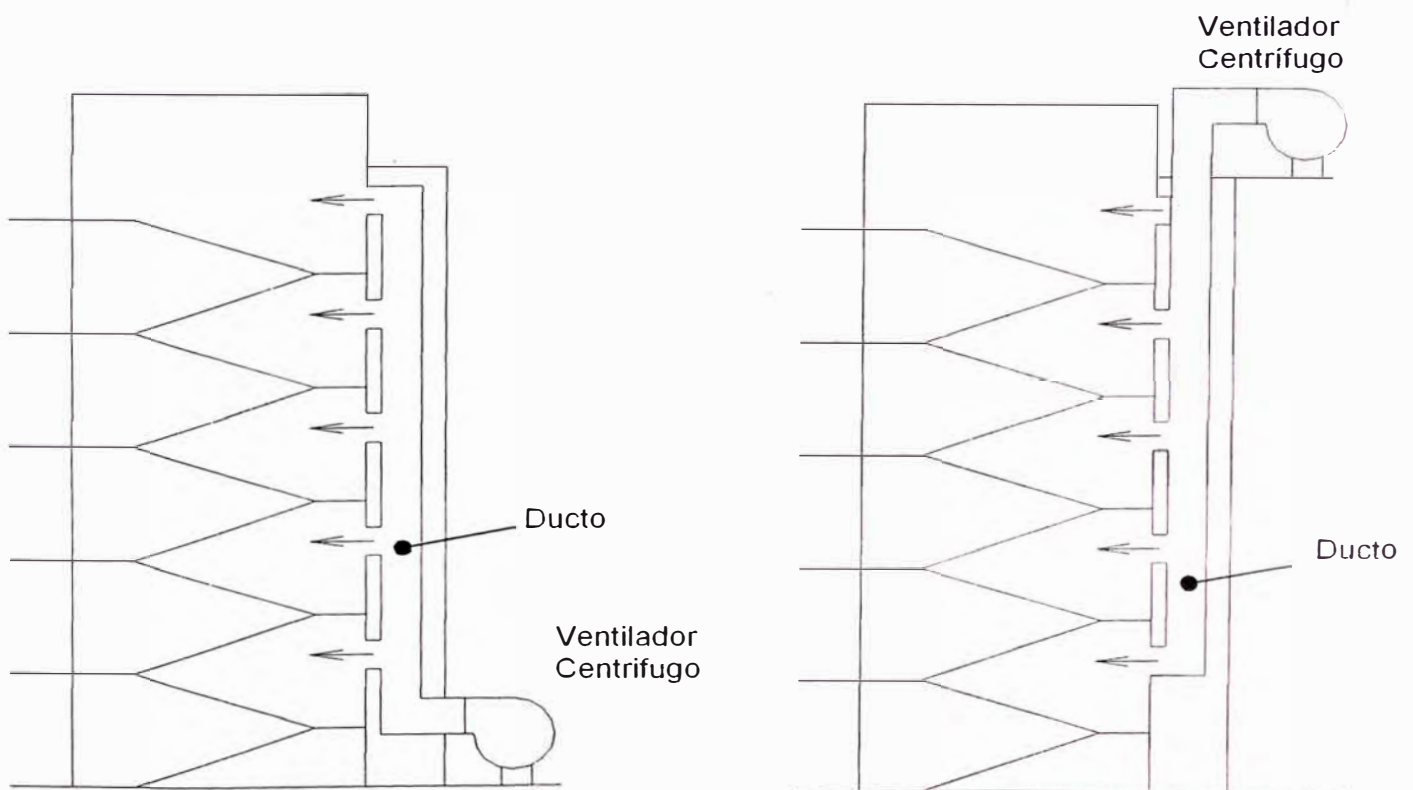


Figura 6.2 Presurización de escalera por inyección múltiple

Muchos sistemas de inyección múltiple son contemplados para que posean puntos de suministro de aire en cada piso. Esto representa una gran opción para prevenir pérdidas de presurización, tal como lo ilustra la figura 6.2, a través de pocas puertas abiertas, sin embargo muchos puntos de inyección pueden no ser necesarios. Se recomienda que como mínimo haya un punto de inyección por cada tres pisos.

6.1.2. Compartimentación

Una alternativa a la inyección múltiple es el compartimiento de la escalera en un número de secciones, tal como lo ilustra la figura 6.3. La escalera es dividida en un número de secciones o compartimientos, los cuales pueden ser desde uno a ocho pisos de altura. Los compartimientos son separados por paredes con puertas normalmente cerradas. Cada compartimiento tiene al menos un punto de inyección de aire. La principal ventaja del compartimiento es que permite una presurización de la escalera satisfactoria en edificios muy altos. Una desventaja es el incremento en el área del piso necesario para las paredes y puertas que separan las secciones de la escalera.

Cuando las puertas entre compartimientos son abiertas, el efecto del compartimiento es perdido. Por esta razón, el compartimiento es inapropiado para edificios densamente poblados, donde la evacuación total del edificio es planeada en el caso de un incendio.

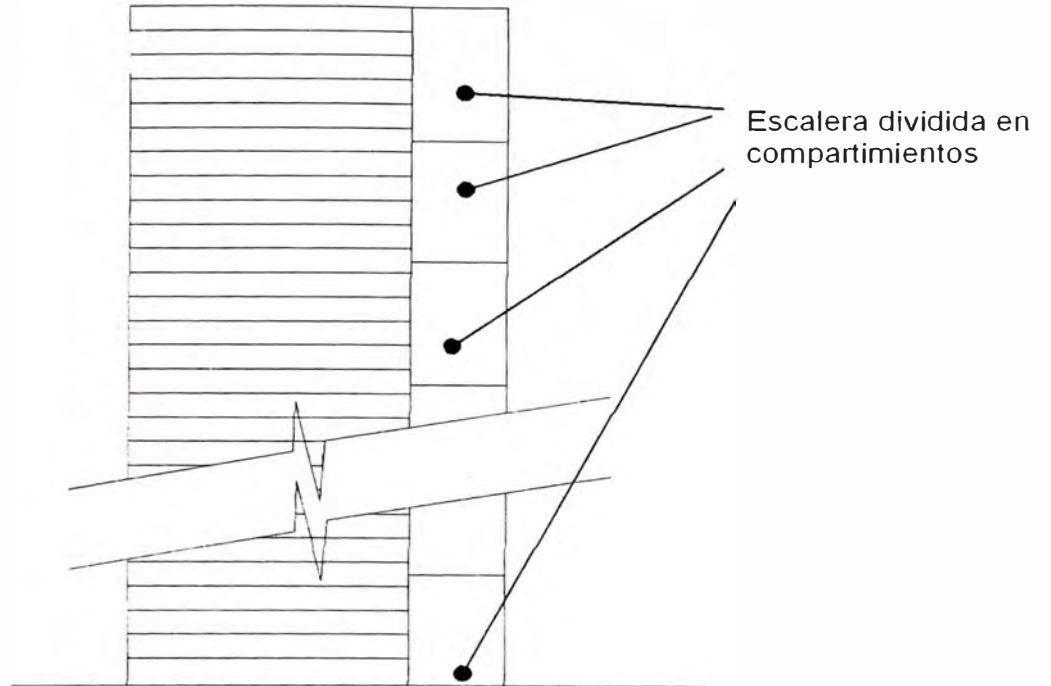


Figura 6.3 Compartimentación de una escalera presurizada

6.2. Perfil de las presiones

Las diferencias de presión a través de la escalera normalmente varían a lo largo de esta. El análisis de las diferencias de presión de columnas no presurizadas fue presentado anteriormente. El análisis de las diferencias de presión en las escaleras presentado en este capítulo es ligeramente más complejo en que la presurización es incorporada.

Para facilitar el análisis, la siguiente discusión está limitada para edificios que tienen las mismas áreas de infiltración en cada piso. La figura 6.4 muestra los perfiles de presión de la escalera presurizada localizada en tres edificios con características diferentes de infiltración, teniendo las mismas temperaturas de ambiente externas.

En edificios sin infiltración vertical entre pisos o a través de otras columnas que la escalera, el perfil de la presión de una escalera presurizada es una línea recta. La inclinación de esta línea recta depende de la diferencia de temperatura entre la escalera y el exterior y de las áreas de infiltración de edificio.

La figura 6.4 muestra un perfil típico de escaleras presurizadas en un edificio con infiltración entre pisos y en un edificio sin infiltración entre pisos, las cuales son similares excepto en la parte inferior y superior del edificio. El grado de desviación depende de la magnitud del área de infiltración entre pisos. Los perfiles de la presión dependen de las áreas de infiltración de la escalera, de la caja de los elevadores y de las paredes exteriores, tan bien como de la temperatura del edificio, de la escalera y de la temperatura del aire externo. El análisis considerando todos estos parámetros es complicado y es generalmente factible solo con la ayuda de una computadora.

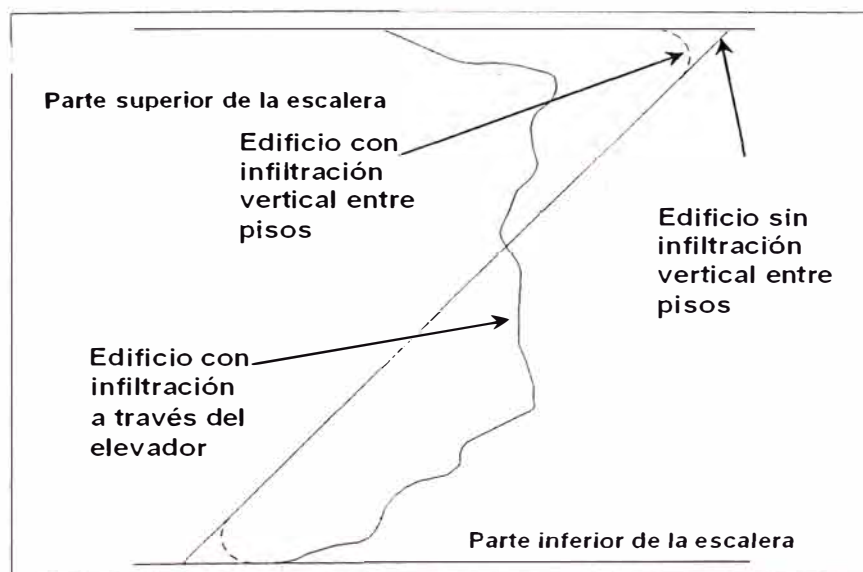


Figura 6.4 Perfil de la presión para escalera presurizada en tres edificios con diferentes características de infiltración.

6.3. Análisis de la presurización

En esta parte, se presenta un método de análisis para una escalera presurizada en un edificio sin infiltración vertical entre pisos. Esta es la misma idealización de la infiltración cero entre pisos que sirvió para el análisis del efecto columna en capítulos anteriores.

No tomando en cuenta los efectos de la infiltración a través de los pisos, así como la existencia de otras columnas, se incrementa la extensión entre la diferencia de presión mínima y máxima. En este sentido el análisis es conservador. Este análisis considera solo una escalera presurizada en el edificio, sin embargo, esto puede ser extendido a cualquier número de escaleras usando el concepto de simetría.

Este primer análisis no tiene en consideración puertas abiertas en la escalera, lo cual será visto posteriormente.

Este análisis es para edificios donde el área de infiltración son los mismos para cada piso y donde solo las fuerzas significativas son el sistema de presurización y la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior.

6.3.1. Presiones

Para muchas aplicaciones de escaleras presurizadas, el flujo vertical dentro de la columna de la escalera es bajo para que el efecto de las pérdidas de fricción se pueda despreciar. Esto es particularmente

verdadero en el sistema en donde la escalera tiene sus puertas cerradas. Por lo tanto, la presión absoluta en el interior de la escalera es considerada una presión hidrostática, en donde:

$$P_s = P_{sb} - g \rho_s y \quad (6.1)$$

donde:

P_s = Presión absoluta dentro de la escalera, en la altura "y"

P_{sb} = Presión absoluta dentro de la escalera, en parte inferior

ρ_s = Densidad del aire en la escalera.

y = Distancia sobre la parte inferior del edificio.

g = Aceleración de la gravedad

Para el caso en donde la velocidad es esencialmente cero, la presión exterior, P_o , podemos considerarla también hidrostática y puede ser expresada de la misma manera:

$$P_o = P_{ob} - g \rho_o y \quad (6.2)$$

donde:

P_o = Presión absoluta en la altura "y"

P_{ob} = Presión absoluta al nivel inferior de la escalera

ρ_o = Densidad del aire exterior

y = Distancia sobre la parte inferior del edificio.

La diferencia de presión desde a escalera al exterior puede ser expresada como $\Delta P_{s.o} = P_s - P_o$, y sustituyendo las ecuaciones (6.1) y (6.2) tenemos:

$$\Delta P_{so} = \Delta P_{sob} + g y (\rho_o - \rho_s) \quad (6.3)$$

donde:

ΔP_{so} = Diferencia de presión en el nivel "y"

ΔP_{sob} = Diferencia de presión en el nivel inferior de la escalera.

Para seguir con el análisis, asumimos que no existe variación de las densidades con la altura, teniendo como resultado un ligero error en la predicción de las diferencias de presiones. La magnitud de este error se incrementa con la altura, y para un edificio de 100 pisos el error será menor que el 4%. Para propósitos de este informe, este error es insignificante.

Sustituyendo la ecuación de gases ideales en la ecuación (6.3), ΔP_{so} puede ser expresado como una función de temperatura:

$$\Delta P_{so} = \Delta P_{sob} + by \quad (6.4)$$

$$b = K_s \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_s} \right) \quad (6.5)$$

donde:

b = factor de temperatura

T_o = temperatura absoluta del aire exterior

T_s = Temperatura absoluta en la escalera

K_s = Coeficiente (3460 para unidades en SI)

El área efectiva desde la escalera a través del edificio hacia el exterior es expresada en un piso por:

$$A_{SBOe} = \frac{A_{SB} A_{BO}}{\sqrt{A_{SB}^2 + A_{BO}^2}} \quad (6.6)$$

donde:

A_{SBOe} = Área efectiva de flujo entre la escalera y el exterior.

A_{SB} = Área de flujo entre la escalera y el edificio

A_{BO} = Área de flujo entre el edificio y el exterior

Las áreas en esta ecuación son las del piso entero. En tal caso, la diferencia de presión, ΔP_{SB} , entre la escalera y el edificio puede ser expresada como:

$$\Delta P_{SB} = \Delta P_{SBb} + \frac{by}{1 + (A_{SB}/A_{BO})^2} \quad (6.7)$$

Las diferencias de presiones ΔP_{SO} y ΔP_{SB} son relacionadas como sigue:

$$\Delta P_{SB} = \frac{\Delta P_{SO}}{1 + (A_{SB}/A_{BO})^2} \quad (6.8)$$

6.3.2. Presurización

Para el caso donde una escalera está presurizada positivamente y en forma completa, el flujo desde la escalera al exterior puede ser escrito en forma diferencial como:

$$dQ = C A_{he} \sqrt{\frac{2 \Delta P_{SO}}{\rho}} dy \quad (6.9)$$

El término A_{he} es el área efectiva de flujo distribuida por unidad de altura, cual es uniforme verticalmente. El área de flujo distribuido es expresada como:

$$A_{he} = \frac{N A_{SBOe}}{H} \quad (6.10)$$

donde:

A_{he} = área efectiva de flujo distribuida por unidad de altura.

H = Altura de la escalera

N = número de pisos.

Sustituyendo la ecuación (6.4) en la ecuación (6.9), tenemos:

$$dQ = \frac{N C A_{SBOe}}{H} \sqrt{2(\Delta P_{SOB} + by)/\rho} dy$$

Esta ecuación puede ser integrada desde $y = 0$ hasta $y = H$ para dar un total de flujo, Q_{SBO} , desde la escalera al edificio y al exterior:

$$Q_{SBO} = \frac{2}{3} N C A_{SBOe} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \left(\frac{\Delta P_{SOt}^{3/2} - \Delta P_{SOB}^{3/2}}{\Delta P_{SOt} - \Delta P_{SOB}} \right) \quad (6.11)$$

Donde ΔP_{SOt} es la diferencia de presión entre la escalera y el exterior en la parar superior ($y=H$). Ya que la ΔP_{SB} es una función lineal de ΔP_{SO} como se puede ver en la ecuación (6.8), la ecuación (6.11) puede ser escrita en términos de la presión desde la escalera al edificio, tal como:

$$Q_{SB} = K_q \frac{N A_{SB}}{\sqrt{\rho}} \left(\frac{\Delta P_{SBt}^{3/2} - \Delta P_{SBb}^{3/2}}{\Delta P_{SBt} - \Delta P_{SBb}} \right) \quad (6.11a)$$

donde:

Q_{SB} = Flujo volumétrico de la escalera al edificio.

ρ = Densidad del aire en la escalera

A_{SB} = Área de flujo entre la escalera y el edificio con la puertas cerradas

N = Número de pisos

ΔP_{SBt} = Diferencia de presión entre la escalera y el edificio n la parte superior de la escalera con las puertas cerradas

ΔP_{SBb} = Diferencia de presión entre la escalera y el edificio en la parte inferior de la escalera con las puertas cerradas.

K_q = Coeficiente. (0.613 para unidades en el SI)

Ya que hemos considerado que no existe un flujo vertical en el edificio, se cumple que $Q_{SB} = Q_{SBO}$. Este es el caudal de aire suministrado a la escalera que será necesario para mantener las diferencia de presiones, ΔP_{SBb} en la parte inferior y ΔP_{SBt} en la parte superior.

En edificios con infiltración vertical, la evaluación exacta del sistema requerirá que el efecto de tres o mas columnas de aire a diferentes temperaturas sean incluidas. Tal análisis es engorroso y, para propósitos prácticos, es necesario utilizar un análisis por computadora. Por esta razón el método del análisis presentado en

este informe es basado en un edificio sin infiltración vertical. Para hacer este análisis conservativo cuando lo apliquemos a un edificio con infiltración vertical, la temperatura de la escalera es reemplazada por la temperatura del edificio. Por lo tanto la ecuación (6.5) se convierte en:

$$b = K_s \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_B} \right) \quad (6.12)$$

donde:

T_o = Temperatura absoluta del aire exterior

T_B = Temperatura absoluta del aire en el edificio.

K_s = Coeficiente. (3460 para unidades en el SI)

6.3.3. Diferencia de Presión Promedio

La diferencia de presión promedio puede ser definida como la diferencia de presión uniforme sobre toda la altura de la escalera que resultará un mismo caudal total como en un perfil de presiones no uniformes. El flujo desde la escalera puede ser expresado como:

$$Q = N A_e C \sqrt{2 \overline{\Delta P} / \rho} \quad (6.13)$$

Donde $\overline{\Delta P}$ es la diferencia de presión promedio a través de la trayectoria del flujo. Las ecuaciones (6.11), (6.11a) y (6.12) pueden ser combinadas, teniendo:

$$\overline{\Delta P} = \frac{4}{9} \left(\frac{\Delta P_t^{3/2} - \Delta P_b^{3/2}}{\Delta P_t - \Delta P_b} \right)^2 \quad (6.14)$$

Los subíndices SB y SO han sido eliminados de esta ecuación, ya que esto es aplicable a flujos desde la escalera al edificio o al exterior. La ecuación (6.14) puede ser aproximada por:

$$\overline{\Delta P} = \frac{1}{2}(\Delta P_s + \Delta P_b) \quad (6.15)$$

el máximo error en esta última relación es aproximadamente de 6% y ocurre cuando $\Delta P_b = 0$.

6.4. Altura límite

Existen dos problemas que se pueden presentar con la presurización de escaleras. Uno de ellos es que la diferencia de presión mínima pueda ser tan baja para prevenir la infiltración del humo y el otro es que la máxima diferencia de presión pueda ser tan alta, haciendo que la apertura de puertas sea dificultosa. Estos problemas son más propensos que existan en edificios muy altos durante periodos de extrema temperatura exterior.

En algunos casos, una presurización satisfactoria de una escalera puede ser imposible aún cuando todas las puertas de la escalera se encuentren cerradas. Llamamos presurización satisfactoria a que en ninguna parte de la escalera exista una diferencia de presión mayor a la máxima permitida o menor a la mínima permitida.

Para edificios sin infiltración vertical, la ecuación (6.5) puede ser sustituida en la ecuación (6.7) y despejando obtenemos la altura límite, debajo de la cual la presurización satisfactoria será posible:

$$H_m = K_m \frac{(\Delta P_{\max} - \Delta P_{\min})}{\left| \frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_B} \right|} \left[1 + \left(\frac{A_{SB}}{A_{BO}} \right)^2 \right] \quad (6.16)$$

donde:

H_m = Altura límite

ΔP_{\max} = Diferencia de presión máxima permitida entre la escalera y el edificio.

ΔP_{\min} = Diferencia de presión mínima permitida entre la escalera y el edificio.

T_o = Temperatura externa

T_B = Temperatura del edificio.

A_{SB} = Área de flujo entre la escalera y el edificio.

A_{BO} = Área de flujo entre el edificio y el exterior.

K_m = Coeficiente (0.000289 para unidades en SI)

T_s fue reemplazada por T_B en la ecuación (6.16) para que la ecuación obtenga valores conservativos de H_m para edificios con infiltración vertical. En tales edificios, el perfil de presiones real depende de tres o más columnas de aire a diferentes temperaturas. Si la temperatura de la escalera está entre la temperatura externa y la temperatura del edificio, la ecuación (7.16) obtendrá resultados conservativos.

El valor absoluto del término de la temperatura es utilizado en la ecuación (6.16) para que la ecuación pueda ser aplicada tanto en condiciones de invierno como en condiciones de verano. En muchos casos, A_{SB} es mucho

más pequeña que A_{BO} y en tales casos, la ecuación (6.16) puede ser simplificada como:

$$H_m = K_m \frac{(\Delta P_{\max} - \Delta P_{\min})}{\left| \frac{1}{T_O} - \frac{1}{T_B} \right|} \quad (6.17)$$

6.5. Sistema simple de presurización de escaleras

Un sistema simple de presurización de escaleras es aquel por el cual no se ha tomado ninguna previsión en el diseño para compensar la caída de presión cuando una o más puertas son abiertas. El análisis de un sistema simple constituye la base para el análisis del sistema con puertas abiertas, y es el que se ha realizado en el tópico anterior, donde se consideró que todas las puertas de la escalera se encuentran cerradas.

Algunas de las puertas de la escalera pueden ser abiertas durante la evacuación si la escalera está siendo usada. No existe consenso alguno acerca de la aplicación apropiada del sistema simple. Un criterio posible para tal aplicación es que la infiltración del humo durante periodos de baja presión no afectará adversamente el uso de la escalera durante la evacuación.

El sistema simple puede tener una o múltiple inyección, uno o más ventiladores. Cuando todas las puertas están cerradas, el sistema deberá mantener una presurización satisfactoria. Cuando las puertas de la escalera son abiertas, la diferencia de presión a través de las puertas cerradas usualmente cae

hasta niveles bajos (en el rango de 0.01" H₂O). Estos bajos niveles de presurización no son suficientes para prevenir la infiltración del humo dentro de la escalera, y este sistema solo es apropiado para aplicaciones por el cual las puertas de la escalera están cerradas por casi todo el tiempo durante la evacuación.

6.6. **Sistemas con puertas abiertas**

Como se discutió en el tópico anterior, cuando alguna puerta de la escalera es abierta en el sistema simple de presurización, la diferencia de presión a través de las puertas cerradas cae significativamente. Sin embargo, la apertura de la puerta de la escalera que da al exterior resulta en una caída de presión mas grande. Esto es porque a través de la abertura de la puerta exterior, el flujo va directamente hacia fuera, mientras el flujo de aire a través de las otras puertas abiertas debe cruzar otras rutas en el interior del edificio, para luego alcanzar el exterior. El incremento de la resistencia en el flujo a causa del edificio significa que hay un menor flujo de aire a través de estas puertas comparado con el flujo de aire a través de la puerta abierta que da directamente al exterior. El flujo a través de la puerta exterior puede ser de tres diez veces mayor que el flujo en otras puertas abiertas. Por lo tanto, la puerta exterior de la escalera es el mayor causante de las fluctuaciones debido a su apertura y cierre.

Para edificios densamente poblados, se puede esperar que muchas puertas de la escalera sean abiertas durante la evacuación en un incendio. El

número de puertas abiertas para el diseño depende fuertemente del plan de la evacuación.

Podemos mencionar a tres tipos de sistemas para mantener niveles aceptables de presurización con todas las puertas cerradas y con algunas puertas abiertas. Estos sistemas son:

- Sistema con un suministro constante de aire y con una puerta exterior que abre automáticamente con la activación del sistema. (Sistema Canadiense)
- Sistema con un suministro constante de aire y con un damper barométrico.
- Sistema con un suministro variable de aire.

6.6.1. Sistema con suministro constante de aire (Sistema Canadiense)

En el sistema con suministro constante de aire y con una puerta de la escalera exterior que abre automáticamente bajo la activación del sistema, no hay realmente un flujo constante, ya que este varía en alguna magnitud con la presión a través del ventilador. Para ventiladores centrífugos, esta variación del flujo puede ser muy pequeña. Sin embargo el término de suministro constante es usado para diferenciar este sistema de los otros con suministro variable de flujo. El suministro de aire puede ser introducido desde un solo punto o también puede ser de inyección múltiple, según lo ilustrado en la figura 6.5.

Eliminando la apertura y cierre de la puerta exterior de la escalera durante la operación del sistema, el sistema canadiense elimina la mayor fuente de fluctuaciones de la presión. Este sistema es simple para diseñar y relativamente barato.

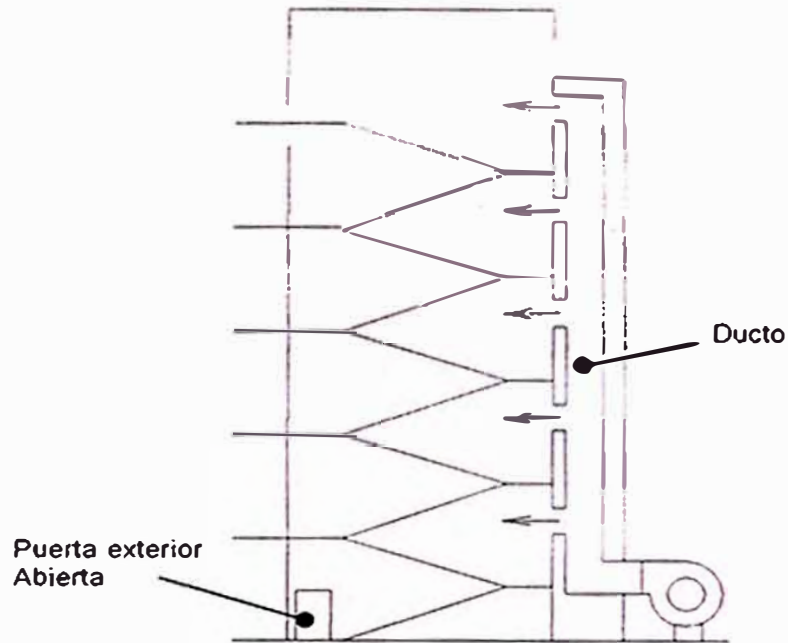


Figura 6.5 Sistema canadiense con una puerta exterior que abre automáticamente.

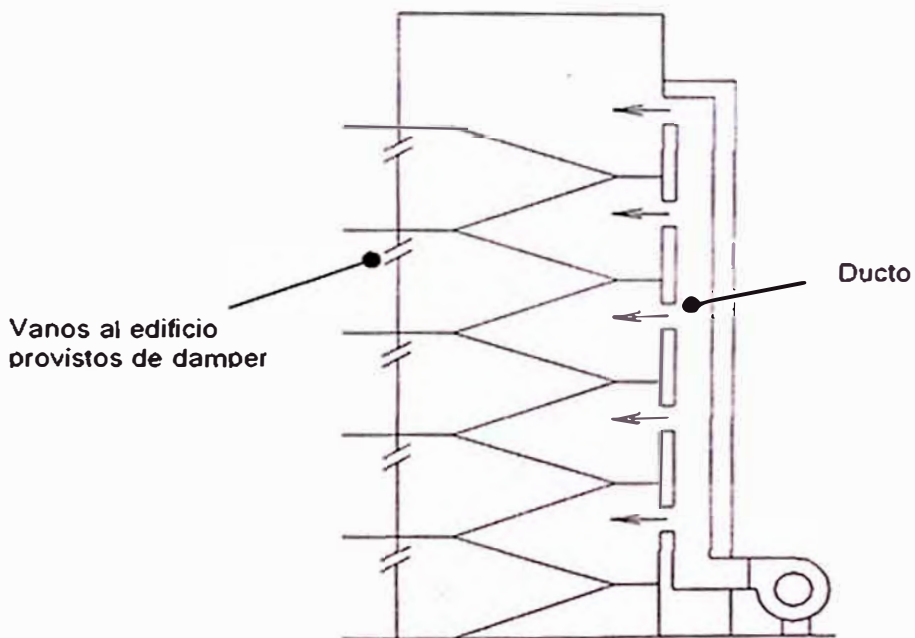


Figura 6.6 Presurización de escaleras con vanos al edificio en cada piso.

6.6.2. Sistema con dampers barométricos

Un sistema con dampers barométricos tiene suficiente suministro de aire cuando el número de puertas de diseño es abierto. Cuando todas las puertas están cerradas, parte del aire suministrado es descargado a través de un vano para prevenir el excesivo incremento de presión. Este exceso de aire puede ser desfogado al edificio o hacia el exterior. Además, los vanos exteriores pueden ser sometidos a efectos adversos del viento, por eso barreras de vientos son recomendados.

Los dampers barométricos, que cierran cuando la caída de presión baja a valores específicos, pueden ser usados para minimizar las pérdidas de aire a través e los vanos cuando las puertas son abiertas. La figura 6.6 muestra un sistema con vanos al edificio en cada piso. En sistemas construidos con vanos entre la escalera y el edificio, los vanos típicamente tienen uno o más dampers cortafuego en serie con el damper barométrico.

6.6.3. Sistema con Suministro de Aire Variable

Los sistemas con suministro de aire variable pueden ser usados para proveer un alivio a la sobre presión. El flujo variable puede ser logrado usando uno de los muchos ventiladores comercialmente disponibles, en donde el motor eléctrico está comandado por un variador de velocidad, el cual se retroalimenta de una señal emitida

por sensores de presión estática que detectan los valores de la diferencia de presión entre la escalera y el edificio. Cuando las puertas de la escalera son abiertas, la presión dentro de esta cae y por medio de los sensores y el variador de velocidad del motor, hace que este gire con mayor rapidez, logrando un mayor flujo de aire en el interior de la escalera, y así obtener al menos el valor mínimo de la presurización de diseño. Cuando todas las puertas son cerradas, la presión en la escalera se incrementa y, como en el caso anterior, los sensores y el variador de velocidad hacen que el motor gire a menor velocidad, obteniendo un flujo de aire menor para prevenir diferencias de presiones excesivas.

Este sistema de suministro de aire variable se puede lograr también con un arreglo entre el ventilador, ductos y dampers modulantes, los cuales realizaran un by-pass para regular el flujo de aire según la necesidad, la cual será identificada por sensores de presión estática, tal como ocurrió en el caso anterior, logrando así un control en la diferencia de presión entre la escalera y el edificio.

6.7. Análisis del sistema con puertas abiertas

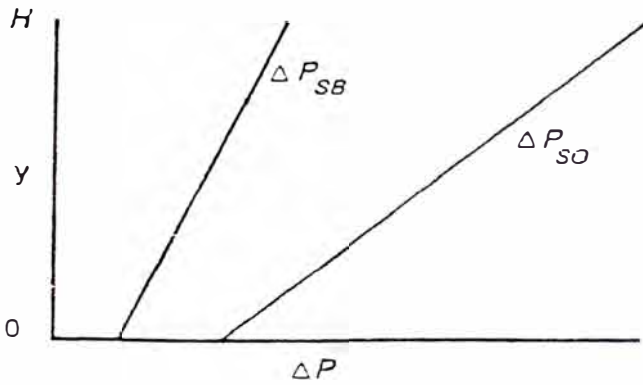
El método analítico desarrollado para un sistema simple de presurización de escalera puede ser extendido para presurizar escaleras con puertas abiertas con tal que las pérdidas por fricción debido al flujo de aire en la escalera sea despreciable. Las pérdidas por fricción pueden ser minimizadas si tenemos un sistema con inyección múltiple diseñado para minimizar el flujo de aire

vertical dentro de la escalera. Ya que las pérdidas de presión debido a la fricción son insignificantes, las diferencias de presión descritas por la ecuación (6.4), (6.7), (6.8) y (6.12) aplican tanto en condiciones de verano e invierno, tal como se ilustra en la figura 6.7.

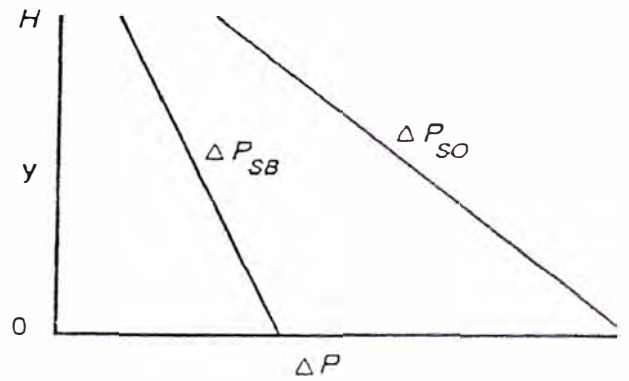
Cuando todas las puertas están cerradas, las diferencias de presión son lineales, tal como lo ilustra la figura 6.7a y 6.7b. Como se espera, la diferencia de presión se incrementa con la altura en el invierno y decrece con la altura en verano. Cuando una puerta exterior es abierta, la diferencia de presión a través de esta se incrementa, tal como lo muestra la figura 6.7c y 6.7d. Esto significa que el flujo a través de una puerta exterior abierta puede ser muy grande. Esto es especialmente verdadero durante el verano, que es cuando la diferencia de presión es mas grande en la parte inferior de la columna de la escalera, y donde la mayoría de puerta exteriores son localizada. (Figura 6.7d). Cuando las puertas son abiertas al edificio, la diferencia de presión cae significativamente, como se ilustra en la figura 6.7c y 6.7d.

En el invierno, la diferencia de presión a través de puertas abiertas se incrementa con la elevación. La mayor cantidad de presurización es necesaria cuando el número de puertas abiertas de diseño son localizadas en la parte superior de la escalera, como lo ilustra la figura 6.7e. Esto establece una conservativa condición de diseño en el invierno.

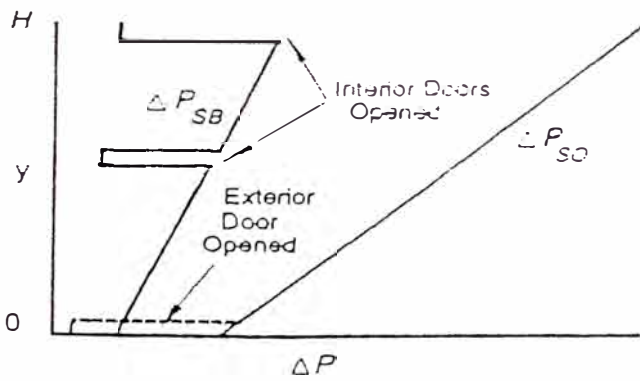
La condición conservativa de diseño en verano es para las puertas abiertas en la parte inferior de la escalera, tal como lo muestra la figura 6.7f.



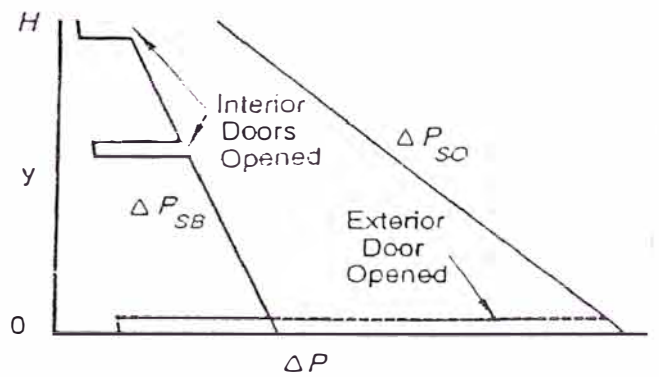
(a) Winter with All Doors Closed



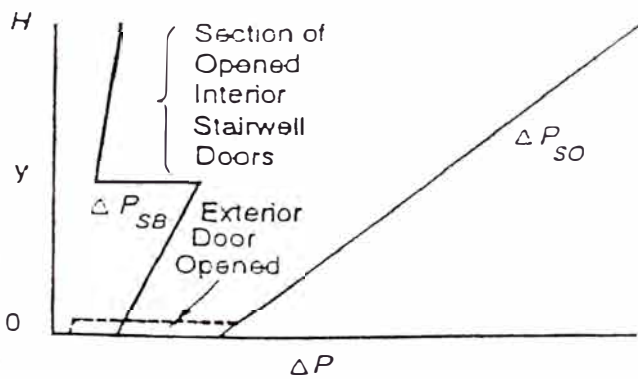
(b) Summer with All Doors Closed



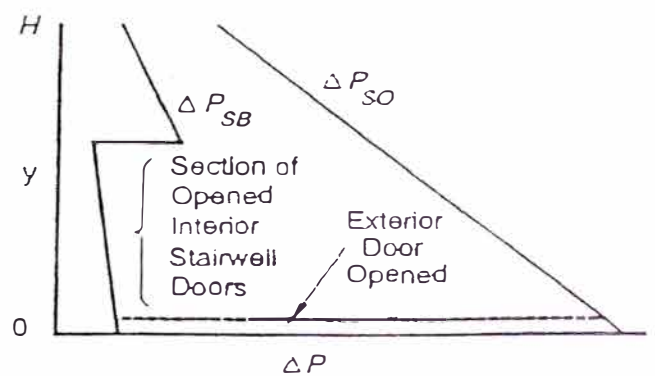
(c) Winter with Some Doors Closed



(d) Summer with Some Doors Opened



(e) Winter with Design Condition of Opened Doors



(f) Summer with Design Condition of Opened Doors

Figura 6.7 Diferencias de presión con puertas de la escalera abiertas y cerradas

La ecuación (6.11) aplica cuando el área efectiva de flujo entre la escalera y el edificio es el mismo para cada piso. Cuando algunas puertas son abiertas y otras cerradas, esta área de flujo varía de piso en piso, La ecuación (6.11) y (6.11a) puede ser aplicada juiciosamente para una sección vertical de la escalera, donde los valores de A_{SB} y A_{BO} sean los mismos en cada piso. Ambas áreas son usadas para calcular las diferencias de presión y el área efectiva de flujo. Las ecuaciones (6.11) y (6.11a) pueden ser escritas de una forma general tal como sigue, considerando el coeficiente de flujo, $C = 0.65$ y condiciones de atmósfera estándar:

$$Q = G N A_e \quad (6.18)$$

donde:

- Q = Flujo volumétrico de la sección
 N = Número de pisos en la sección
 A_e = Área de flujo efectiva por piso de la escalera
 G = factor de flujo

$$G = K_g \left(\frac{\Delta P_t^{3/2} - \Delta P_b^{3/2}}{\Delta P_t - \Delta P_b} \right) \quad (6.19)$$

donde:

- ΔP_b = Diferencia de presión en la parte inferior de la sección
 ΔP_t = Diferencia de presión en la parte superior de la sección
 K_g = Coeficiente (0.559 para unidades en el SI)

Las dos ecuaciones descritas líneas arriba pueden ser usadas para calcular Q_{SB} o Q_{SO} . Cuando calculamos Q_{SB} , A_e y las dos diferencias de presión son de la escalera al edificio. Cuando se calcula Q_{SO} , A_e y las dos diferencias de presión son de la escalera hacia el exterior.

Los flujos que se descargan desde la escalera hacia el exterior en forma directa son tratados en forma diferente. Para puertas, vanos u otras aberturas directas al exterior, el flujo puede ser expresado como:

$$Q_{SO} = K_o C A_{SO} \sqrt{\frac{2 \Delta P_{SO}}{\rho}} \quad (6.20)$$

donde:

Q_{SO} = Flujo volumétrico desde la escalera al exterior

C = Coeficiente de flujo adimensional

A_{SO} = Área de flujo entre la escalera y el exterior

ΔP_{SO} = Diferencia de presión entre la escalera y el exterior

ρ = Densidad del gas

K_o = Coeficiente

La diferencia de presión no es siempre constante en toda la abertura, por lo tanto la diferencia de presión, ΔP_{SO} , deberá ser evaluada en la mitad de la altura de dicha abertura.

Además, aplicar factores de seguridad es necesario para dimensionar el flujo de aire del o los ventiladores. Estos factores de seguridad totalizan las desviaciones en las áreas de flujo de los valores usados en los cálculos. La infiltración desde la escalera al edificio es dependiente de dos áreas de flujo, A_{SB} y A_{BO} . El flujo a través de una puerta abierta al exterior es dependiente de solamente un área de flujo, A_{SO} . Esto significa que el factor de seguridad debe ser mayor para los flujos desde la escalera al edificio que para los flujos que van directamente al exterior.

Un factor de seguridad de 1.5 será usado para los flujos desde la escalera al edificio y un factor de seguridad de 1.1 será usado para el flujo a través de una puerta abierta al exterior.

CAPITULO 7

DISEÑO DEL SISTEMA DE PRESURIZACIÓN

Después de haber planteado las relaciones y suposiciones teóricas para el cálculo del sistema de presurización para el control del humo en la escalera de emergencia de un edificio, aplicaremos estas suposiciones y relaciones en un caso real.

La escalera a implementar el sistema de presurización será la perteneciente al edificio Torre Central del Centro Comercial Camino Real ubicado en el distrito de San Isidro, el cual tiene aproximadamente veinticinco años de haber sido construido, y en donde nos adecuaremos a la distribución existente, realizando algunas implementaciones y modificaciones para la adecuación de este sistema, tratando de respetar la normatividad del Código Nacional de Edificaciones, así como de las diferentes normas internacionales de seguridad como son las normas NFPA.

7.1. Análisis de la arquitectura del edificio

El Centro Comercial Camino Real posee tres edificios de similares características. Uno de ellos es el edificio denominado Torre Central, que como su nombre mismo lo indica, se encuentra en la parte central del Centro

Comercial, entre los otros dos edificios. Este edificio consta de diecisiete pisos.

El plano de un piso típico del edificio se muestra en la figura 7.1, donde se puede observar que existen dos escaleras, la escalera N°1 que es una escalera interna, la cual recorre todo el edificio, desde el piso 1 hasta el nivel de la azotea, y la escalera N° 2 que va desde el nivel 5 hasta el nivel 17, la cual es una escalera externa.

Como podemos observar, la escalera N°1 es una escalera interna, la cual tiene un vano al exterior en cada nivel con la finalidad de que exista una ventilación natural. También podemos observar que el acceso a esta escalera es por la puerta que da al hall de ascensores.

La escalera N°2 es una escalera totalmente externa, y originalmente esta era la escalera designada para que sea la ruta de escape en el caso de algún siniestro. Esta escalera tiene dos accesos, según la figura 7.2, donde cada uno de estos accesos correspondía a la mitad del piso.

Posteriormente, con el correr de los años, la administración del edificio tuvo la necesidad de implementar mas de dos oficinas en un solo piso, ya que la demanda así lo requería.

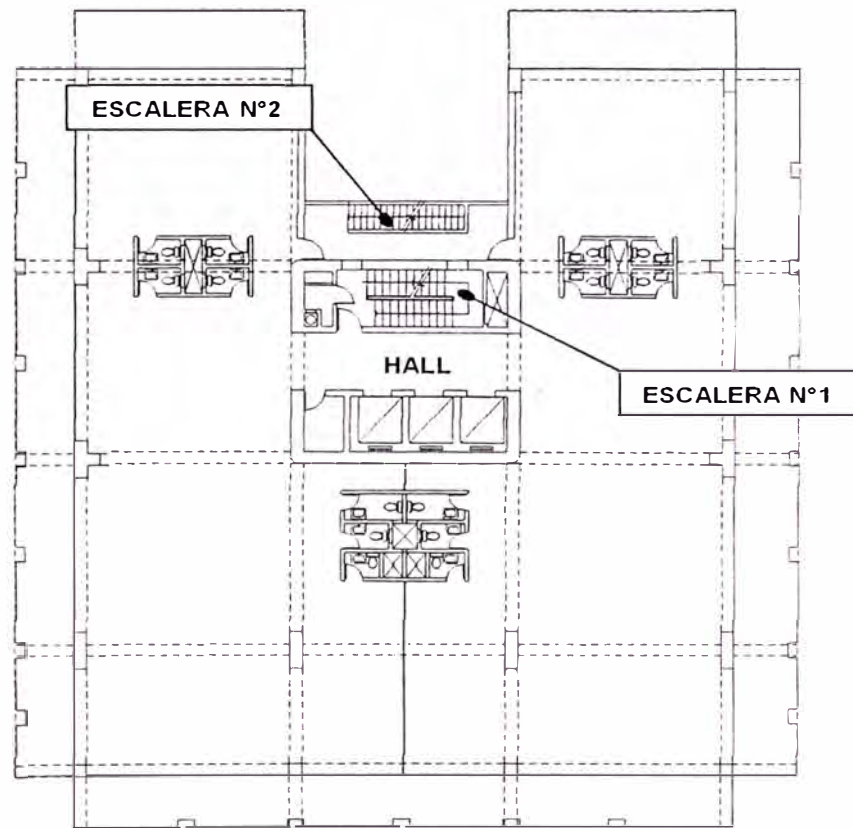


Figura 7.1 Arquitectura típica de un piso de la Torre Central

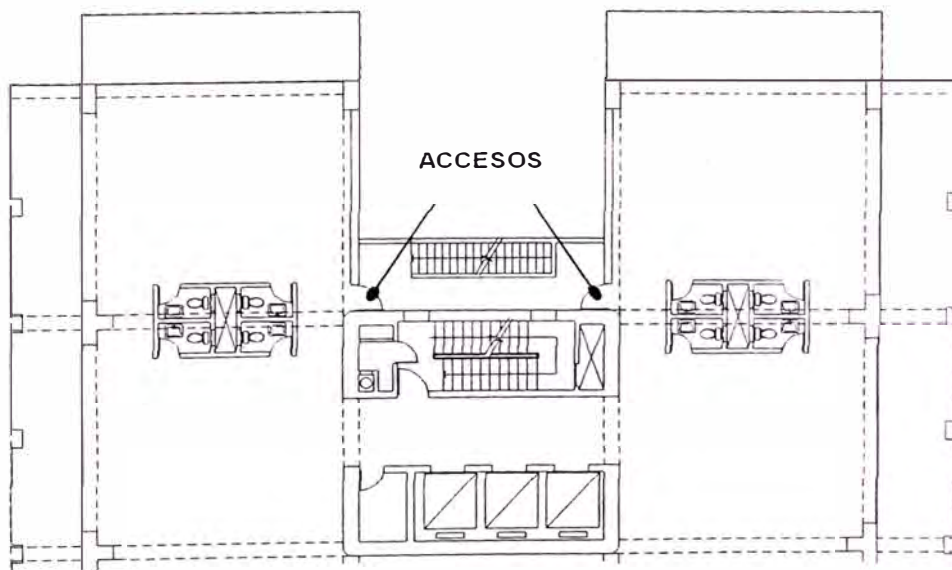


Figura 7.2 Accesos a la antigua escalera de emergencia de la Torre Central

Así, se llegaron a implementar hasta cuatro oficinas en un solo piso, dividiendo al piso en cuatro partes, según la figura 7.3. Ante eso se generaron algunos inconvenientes, principalmente en el tema de la seguridad, específicamente en las rutas de escape o vías de evacuación para los ocupantes de las oficinas en caso de algún siniestro.

Ya que como en un solo piso podrían existir hasta cuatro oficinas, dos de estas oficinas no tendrían un acceso directo a la escalera de escape original. Según la figura 7.3, tan solo las oficinas 1 y 3 tienen acceso a la escalera de emergencia, mas no así las oficinas 2 y 4, y en caso de algún siniestro sus ocupantes tendrían que utilizar la escalera N° 1 para la evacuación, la cual no esta preparada par que sea una vía segura.

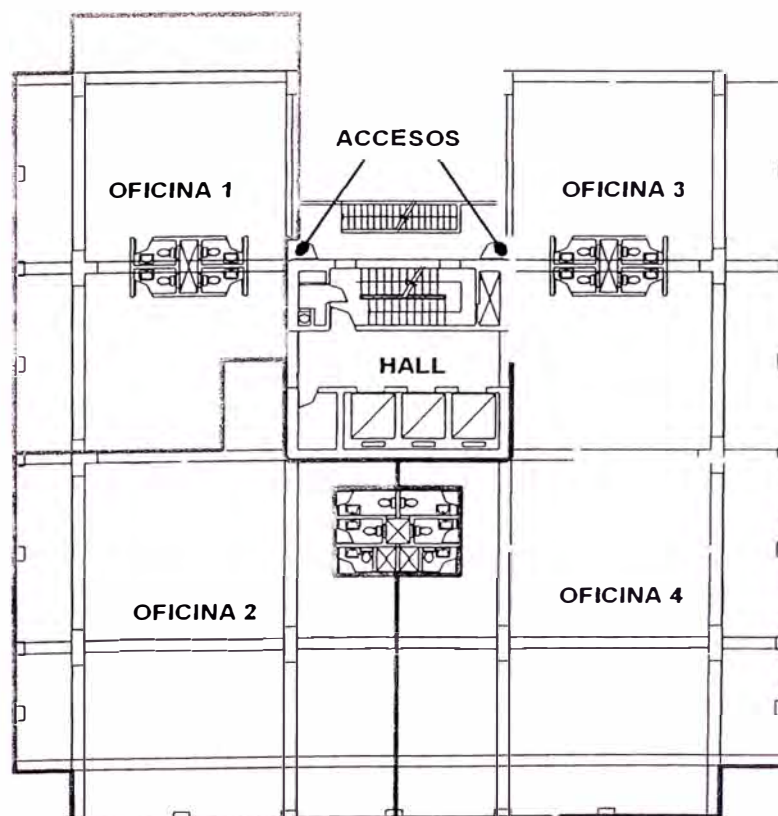


Figura 7.3 División del piso en cuatro oficinas

Ante esto, se decide cambiar de escalera de escape, designándose como nueva ruta de evacuación a la escalera N° 1, por los siguientes motivos:

- Las cuatro oficinas podrán tener acceso a esta, por medio del hall de ascensores, según se puede apreciar en la figura 7.4.
- Por sus características, es adecuada para que en ella se implemente un sistema de control de humos, específicamente, un sistema de presurización para evitar que el humo ingrese en ella en caso de incendio.
- Esta escalera recorre la totalidad del edificio, desde el primer nivel hasta el piso 17, garantizando así, que alguna persona que se encuentre en cualquier nivel del edificio pueda tener acceso inmediato a esta escalera para ponerse a buen recaudo en caso de presentar algún siniestro.
- Por el mismo motivo mencionado en el ítem anterior, esta escalera será adecuada para que los bomberos puedan acceder a cualquier nivel del edificio en forma segura.

Luego, para que la escalera N° 1 sea una escalera de escape que ofrezca una ruta segura libre de algún riesgo de contaminación de humo a los ocupantes del edificio, se deberán realizar algunas modificaciones en ella, principalmente, la implementación de un sistema de presurización de escaleras, la cual es materia de estudio del presente informe de suficiencia.

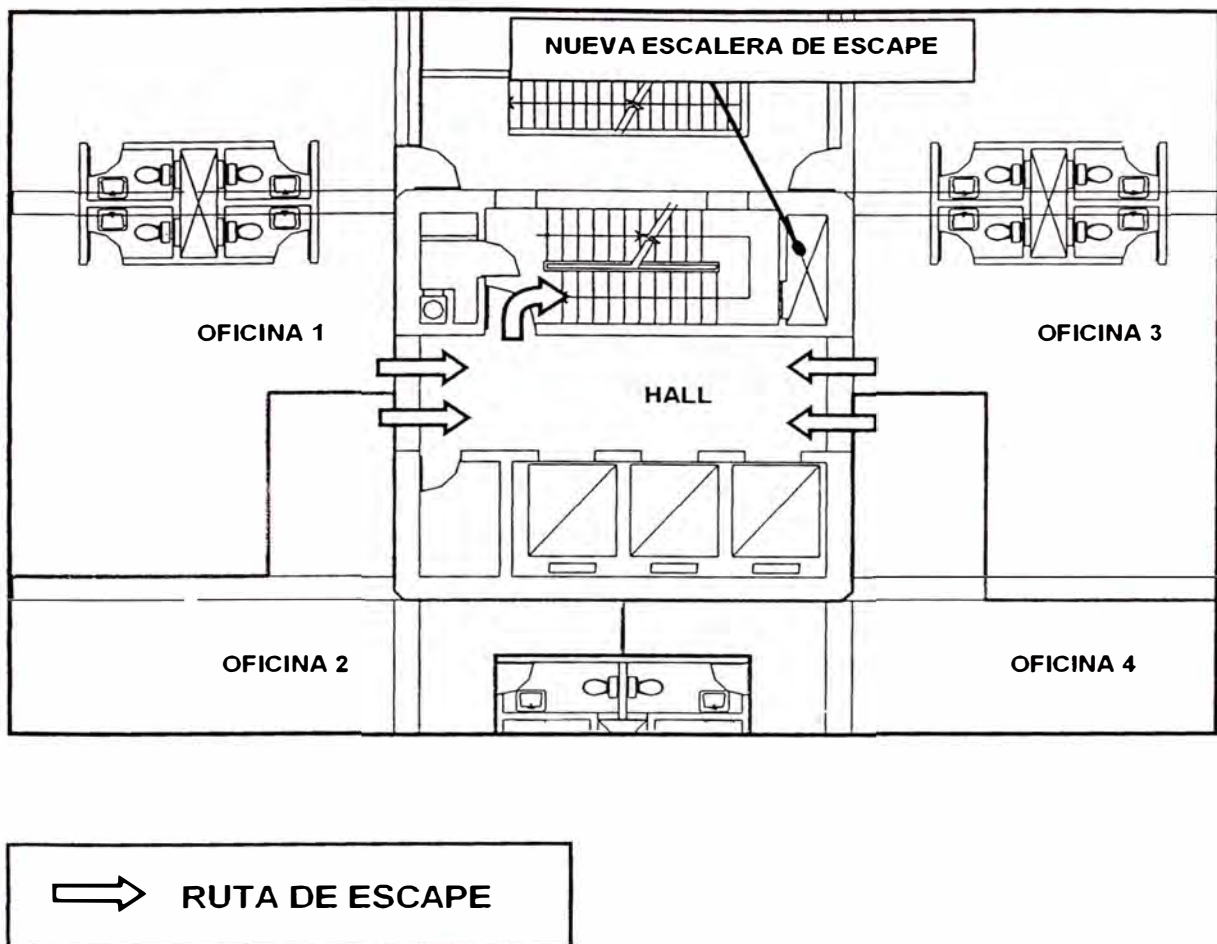


Figura 7.4 Rutas de escape desde cada oficina hacia la escalera de emergencia

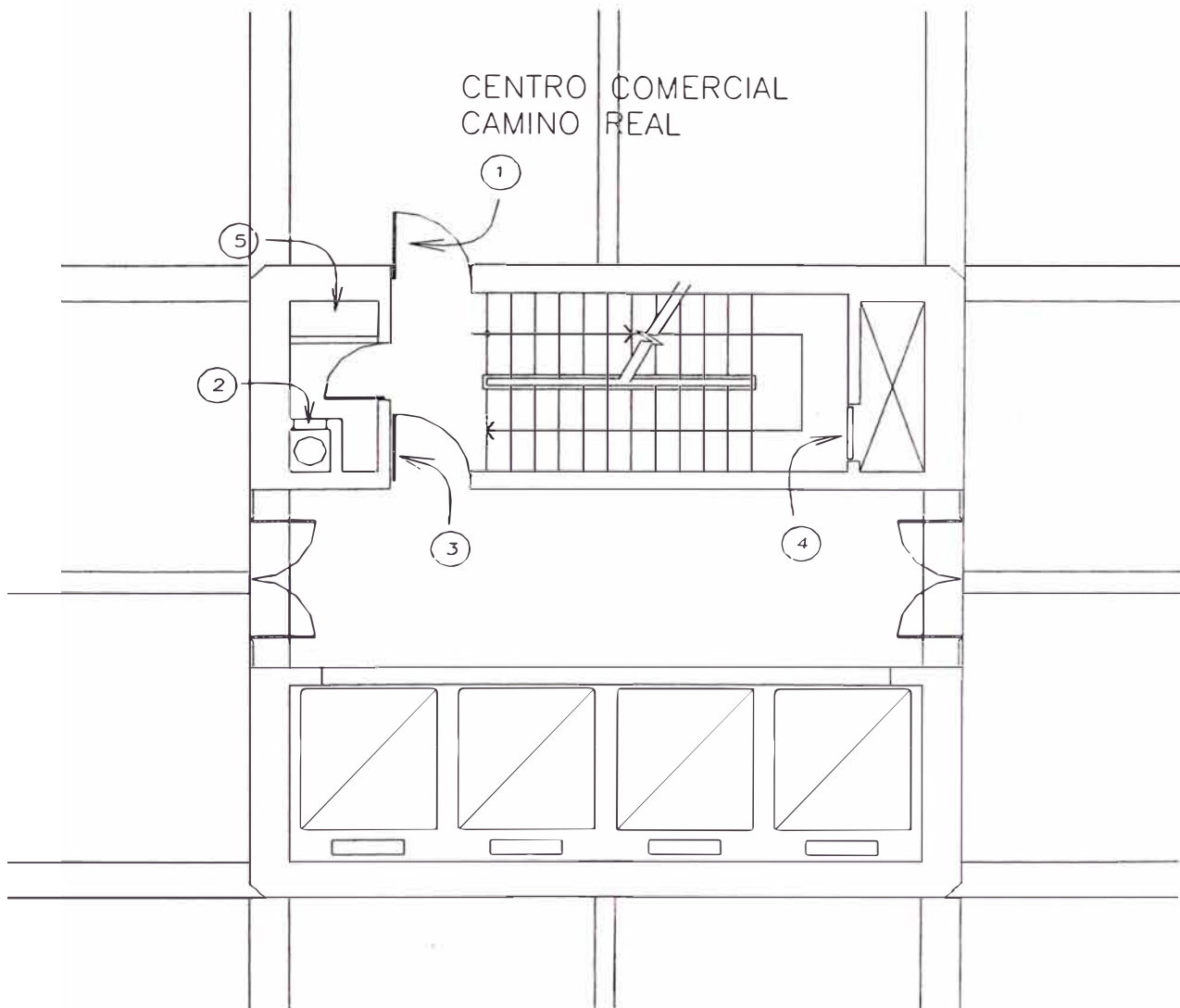
7.1.1. Modificaciones Propuestas

A continuación se detallan las modificaciones que se deben realizar en la escalera N° 1 para que se convierta en una escalera de escape segura, las cuales algunas de ellas se pueden observar en las figuras 7.5 y 7.6.

- a. Cerrar los vanos existentes de manera que la escalera quede hermetizada para luego presurizarla. La separación deberá ser

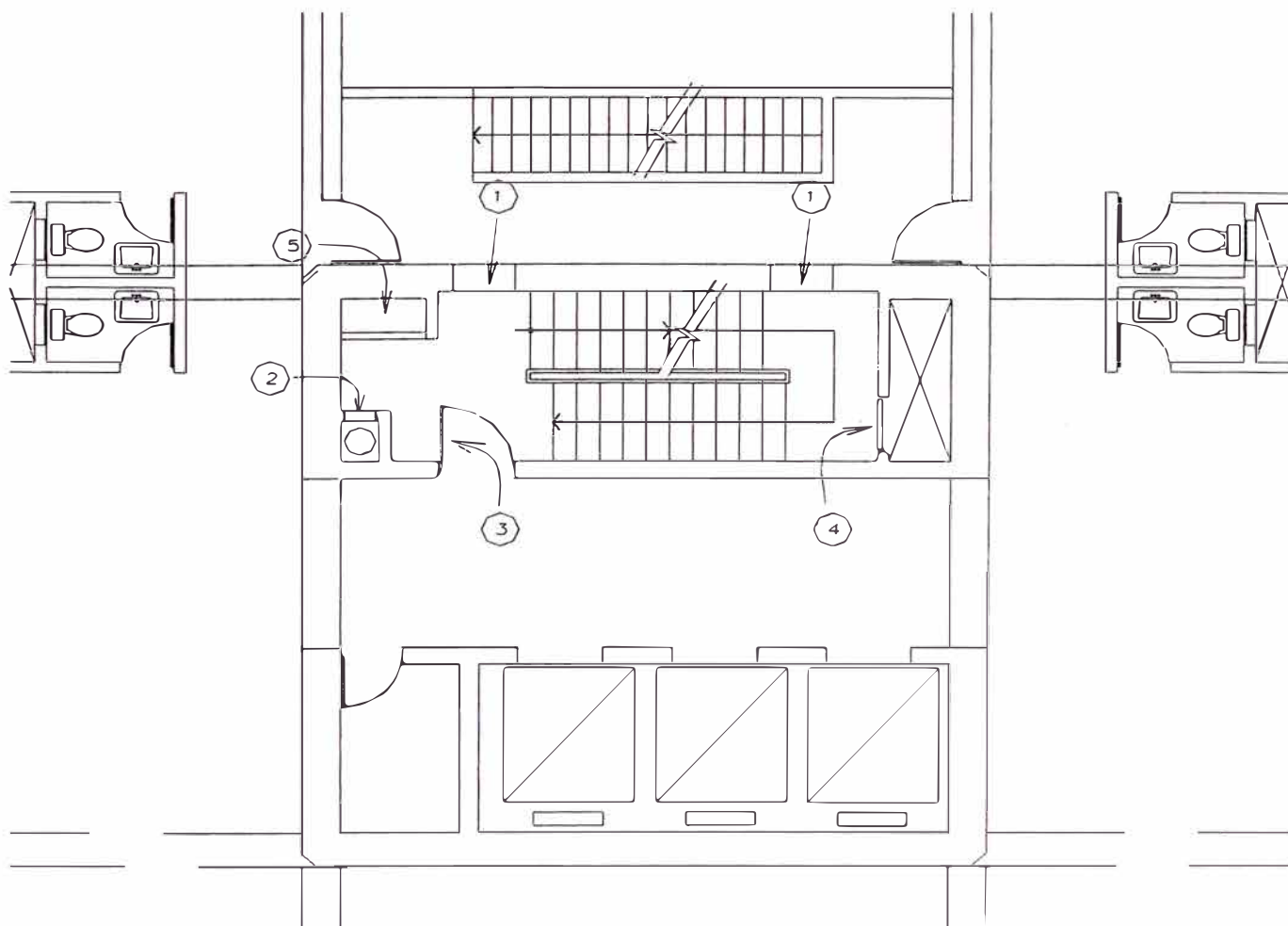
con dry wall resistente al fuego por dos (02) horas o con muro de ladrillo de 15 cm de espesor como mínimo.

- b. Colocar puertas listadas (con certificación UL) cortafuego de 90 minutos de resistencia al fuego, con brazos cierra puertas y manijas en cada puerta de ingreso a la escalera.
- c. Reemplazar las puertas de registro de la montante eléctrica dentro de la escalera por registros de drywall cortafuego de 90 minutos UL.
- d. Proteger las puertas del ducto de basura con cintas de material intumescente.
- e. Implementar un sistema de presurización de escaleras, previendo colocar el equipo de presurización en la azotea y aprovechar los ductos sanitarios existentes y el cuarto de limpieza de requerirse para habilitar el ducto de presurización.
- f. En el primer piso habilitar una salida directa desde la caja de la escalera hacia el área de circulación del Centro Comercial, sin pasar por el hall de ascensores existente.
- g. Implementar señalización de rutas de evacuación incluyendo las alimentaciones eléctricas para las señales.
- h. Colocar selladores retardantes al fuego por 2 horas listado UL en:
 - Pases en cuartos de tableros eléctricos en sótanos
 - Todos los pases existentes en los cerramientos a dichas escaleras.



LEYENDA	
①	HABILITAR PUERTA EXCLUSIVA DE SALIDA DE EMERGENCIA CON BARRA ANTIPANICO Y ALARMA DE APERTURA
②	COLOCAR SELLADOR CORTAFUEGO EN DUCTO DE BASURA
③	REEMPLAZAR POR PUERTA CORTAFUEGO (90 MINUTOS) CON BARRA ANTIPANICO Y BRAZO CIERRA PUERTA
④	RETIRAR PUERTA Y MARCO Y REEMPLAZAR POR TAPA DE REGISTRO EN DRYWALL CORTAFUEGO
⑤	DISPONER DE CUARTO DE LIMPIEZA PARA HABILITAR DUCTO MONTANTE DE PRESURIZACION

Figura 7.5 Modificaciones a realizar en el primer piso del Edificio Torre Central.



LEYENDA	
①	CERRAR CON MURO DE DRYWALL CORTAFUEGO DE 2 HORAS O DE LADRILLO DE 15 cm DE ESPESOR
②	COLOCAR SELLADOR CORTAFUEGO EN DUCTO DE BASURA
③	REEMPLAZAR POR PUERTA CORTAFUEGO (90 MINUTOS) CON BARRA ANTIPANICO Y BRAZO CIERRA PUERTA
④	RETIRAR PUERTA Y MARCO Y REEMPLAZAR POR TAPA DE REGISTRO EN DRYWALL CORTAFUEGO
⑤	DISPONER DE CUARTO DE LIMPIEZA PARA HABILITAR DUCTO MONTANTE DE PRESURIZACION

Figura 7.6 Modificaciones a realizar en piso típico desde el piso 5 al piso 17 del Edificio Torre Central.

7.2. Parámetros a considerar

Para definir los parámetros de diseño, debemos analizar la arquitectura del edificio para obtener las magnitudes requeridas, así como definir las suposiciones y consideraciones necesarias para poder aplicar las ecuaciones descritas anteriormente.

7.2.1. Parámetros Arquitectónicos

Después de analizar la arquitectura y la distribución del edificio Torre Central del Centro Comercial Camino Real, tenemos los siguientes parámetros que nos servirán para poder realizar el cálculo respectivo del sistema de presurización de escaleras:

- a. Número de Pisos: El edificio consta de diecisiete pisos, además que la escalera llega hasta el nivel de la azotea, por lo tanto consideramos el número de pisos o niveles de 18.
- b. Número de puertas de acceso a la escalera: El número de puertas de acceso a la escalera desde el interior del edificio es de 17.
- c. Número de puertas que dan al exterior: La escalera tiene 1 puerta que da al exterior, que es la puerta ubicada en el primer nivel que da hacia el centro comercial Camino Real.

- d. Número de puertas abiertas para el diseño: Para el diseño del sistema de presurización, y considerando el número de niveles y oficinas implementadas, así como la densidad de personas, consideramos un número total de 3 puertas abiertas; siendo una de ellas la puerta de escape que da al exterior, ubicada en el primer nivel. Las demás puertas variaran de posición según las condiciones de clima que se este analizando. Para el análisis en invierno se deben ubicar las puertas abiertas en la parte superior de la escalera, y en verano en la parte inferior, para así poder obtener resultados conservativos.
- e. Altura de la escalera: La altura total de la caja de la escalera es de 58.65 metros, desde el nivel 1 hasta el nivel de la azotea.
- f. Áreas de flujo: Las principales áreas de flujo por cada piso o nivel según corresponda, son las siguientes:
- Entre escalera y las oficinas (A_{sb})
 - Entre las oficinas y el exterior (A_{bo})
 - De puerta de escalera abierta (A_{sd})
- g. Dimensión de las puertas: Las dimensiones promedios de las puertas que vamos a analizar son de 0.90mx2.10mx0.04m.

7.2.2. Otros Parámetros

- a. Temperatura exterior: Las temperaturas exteriores, que serán utilizadas para el diseño del sistema de presurización son:
- Temperatura Invierno 16 °C
 - Temperatura Verano 30 °C
- b. Temperatura del edificio: La temperatura interna del edificio, tanto para el hall de ascensores como para el interior de cada oficina será considerada de 22 °C.
- c. Temperatura de la escalera: Las temperaturas del aire al interior de la escalera serán:
- Temperatura Invierno 18 °C
 - Temperatura Verano 26 °C
- d. Diferencia de Presión: Según la norma NFPA92A, y verificándose que el edificio posee un sistema de rociadores automáticos de agua contra incendio, la diferencia de presión mínima entre la escalera y el edificio es de 0.05" C.A. La diferencia de presión máxima la podemos definir según la tabla 4.4 y según las dimensiones de la puerta y considerando la fuerza máxima de apertura de puertas de 30 lb tenemos que la diferencia de presión máxima es de 0.34" C.A.

7.3. Cálculos

Después de haber definido los parámetros que nos servirán para el diseño del sistema de presurización de escaleras, procederemos a realizar los cálculos respectivos, según lo detallado en los capítulos anteriores.

7.3.1. Cálculos previos

a. Área de flujo entre escalera y el edificio

El área de flujo entre la escalera y el edificio, por cada piso se puede definir aproximadamente por la tabla 4.2 y tabla 4.3, ya que las infiltraciones solamente serán por las ranuras de la puerta y las grietas existentes en la construcción misma, además que las dimensiones son muy cercanas a las dimensiones donde estas tablas son aplicables.

El ancho de la puerta es de 0.90 m, la altura de 2.10m y el espesor de 0.04m. Para una ranura inferior de 0.012m y ranuras superiores y de los lados de 0.002m tenemos que el área de flujo respectivo es de: $A_{\text{flujo1}} = 0.0227 \text{ m}^2$.

Por otro lado, se calculará el área de flujo de las grietas en las paredes de la escalera que dan hacia el edificio. Según los planos, el área total de la pared es de 41.70 m^2 .

De la tabla 4.3, para una pared de escalera de compacta en promedio, el ratio de área es de 0.11×10^{-3} , lo cual multiplicando por el área total de la escalera obtenemos el área de flujo.

$$A_{\text{flujo2}} = 0.11 \times 10^{-3} (41.70) \quad A_{\text{flujo2}} = 0.0046 \text{ m}^2.$$

Por lo tanto el área de flujo total entre la escalera y el edificio es la suma de las dos áreas de flujo previas, que dan:

$$A_{\text{sb}} = 0.0273 \text{ m}^2$$

b. Área de flujo entre el edificio y el exterior

Esta área de flujo la podemos calcular según la tabla 4.3 en forma aproximada. Para una pared exterior de un edificio, incluyendo las grietas de construcción, aberturas por ventanas y puertas, y que esta no sea tan compacta, el ratio de área es de 0.42×10^{-3} , el cual multiplicado con el área total exterior del edificio de cada nivel, obtenemos el área de flujo por nivel:

$$A_{\text{bo}} = 0.42 \times 10^{-3} (493.4) \quad A_{\text{bo}} = 0.207 \text{ m}^2$$

c. Área de flujo de una puerta de la escalera abierta

Según lo señalado en la sección 4.3 el área de flujo para la puerta abierta es la mitad de su área geométrica. Por lo tanto el área de flujo de una puerta abierta es de 0.945 m^2 .

d. **Altura Límite**

Calculamos la altura límite para poder determinar si es posible lograr que las diferencias de presión en cualquier punto de la escalera puedan estar dentro del rango de la diferencia de presión mínima diferencia de presión máxima. Según la ecuación (6.16), la altura límite es:

$$H_m = 0.000289 \frac{(84.70 - 12.45)}{\left| \frac{1}{16 + 273} - \frac{1}{22 + 273} \right|} \left[1 + \left(\frac{0.0273}{0.207} \right)^2 \right]$$

$$H_m = 301.85 \text{ m} > 58.65 \text{ m (Altura total de la escalera)}$$

Comparando este resultado con la altura de la escalera, concluimos que si es posible lograr una presurización satisfactoria.

7.3.2. Cálculo del Caudal de Presurización

Vamos a proceder con el cálculo del caudal de presurización, pero como se ha visto en las secciones anteriores se tiene que analizar tanto en la época de verano como en la época de invierno, ya que las condiciones de temperatura varían y por lo tanto también las diferencias de presiones en valor como en su comportamiento.

a. **Caudal de Presurización en época de Invierno**

Primero calculamos el factor de temperatura, b , para la época de invierno, según las temperaturas de diseño definidas en la sección 7.2. Según la ecuación (6.12) el factor de temperatura, b , depende de la temperatura del edificio, de la temperatura externa y de un factor K_s , que se calcula según la ecuación:

$$K_s = \frac{g P_{atm}}{R}$$

donde g es la aceleración de la gravedad, P_{atm} es la presión atmosférica y R es la constante del aire. Para una atmósfera estándar y considerando que la gravedad no varía con la altura del edificio, tenemos que $K_s = 3460$.

Por lo tanto, el factor de temperatura, b lo podemos obtener aplicando la ecuación (6.12):

$$b = 3460 \left(\frac{1}{16 + 273} - \frac{1}{22 + 273} \right) \quad b = 0.2435$$

A continuación vamos a dividir el cálculo del caudal de presurización en diferentes partes, según la condición de puerta cerrada, abierta o puerta que da al exterior.

- Análisis para puertas cerradas

Como para el cálculo de la presurización en invierno las puertas abiertas deberán estar ubicadas en la parte superior de la escalera, para que el cálculo sea conservativo, se considerará que las puertas cerradas serán las del piso 2 hasta el piso 16, siendo las puertas abiertas las de los niveles del piso 17 y de la azotea, junto con la puerta del primer piso, ya que esta siempre se encontrará abierta por ser la puerta de escape.

Ahora, definimos los parámetros que necesitamos para posteriormente realizar los cálculos.

$$N = 15$$

$$\Delta P_b = \Delta P_{SB} \text{ para } y = 3.20\text{m} \text{ (nivel 2)}$$

$$\Delta P_t = \Delta P_{SB} \text{ para } y = 53.10 \text{ m (nivel 16)}$$

$$A_e = A_{SB}$$

$$\Delta P_{\min} = 0.05'' \text{ C.A. para } y = 0 \text{ (nivel 1)}$$

De la ecuación 6.7, tenemos:

$$\Delta P_b = 12.45 + \frac{0.2435(3.20)}{1 + (0.0273/0.207)^2}$$

$$\Delta P_b = 13.21 Pa = 0.053'' \text{ C.A.}$$

$$\Delta P_t = 12.45 + \frac{0.2435(53.10)}{1 + (0.0273/0.207)^2}$$

$$\Delta P_t = 25.16 Pa = 0.101'' C.A.$$

Con estos resultados, utilizamos la ecuación (6.19) para calcular el factor de flujo:

$$G = 0.559 \left(\frac{25.16^{3/2} - 13.21^{3/2}}{25.16 - 13.21} \right) = 3.66 \text{ m/s}$$

Por lo tanto, de la ecuación (6.18) tenemos:

$$Q_{SB} = G N A_{SB} = 3.66(15)(0.0273)$$

$$Q_{SB} = 1.50 \text{ m}^3/\text{s} = 3.186 \text{ CFM}$$

▪ Análisis para las puertas abiertas

Las puertas abiertas son la del nivel 17 y de la azotea, tal como lo habíamos indicado anteriormente. Por lo tanto, definimos los parámetros que necesitamos para posteriormente realizar los cálculos.

$$N = 2$$

$$\Delta P_b = \Delta P_{SO} \text{ para } y = 53.10 \text{ m (nivel 17)}$$

$$\Delta P_t = \Delta P_{SO} \text{ para } y = 58.65 \text{ m (nivel azotea)}$$

$$A_e = A_{SBOe}$$

$$\Delta P_{\min} = 0.05'' \text{ C.A.} = 12.45 \text{ Pa para } y = 0 \text{ (nivel 1)}$$

De la ecuación (6.8), tenemos:

$$\Delta P_{SOB} = 12.45 \left[1 + (0.0273/0.207)^2 \right]$$

$$\Delta P_{SOB} = 12.67 \text{ Pa} = 0.0509'' \text{ C.A.}$$

Calculamos la diferencia de presión ΔP_b y ΔP_t , según la ecuación (6.4):

$$\Delta P_b = 12.67 + 0.2435(53.10)$$

$$\Delta P_b = 25.60 \text{ Pa} = 0.1028'' \text{ C.A.}$$

$$\Delta P_t = 12.67 + 0.2435(58.65)$$

$$\Delta P_t = 26.95 \text{ Pa} = 0.108'' \text{ C.A.}$$

Con estos resultados, utilizamos la ecuación (6.19) para calcular el factor de flujo:

$$G = 0.559 \left(\frac{26.95^{3/2} - 25.60^{3/2}}{26.95 - 25.60} \right) = 4.30 \text{ m/s}$$

También obtenemos A_{SBOe} de la ecuación (6.6).

$$A_{SBOe} = \frac{0.945(0.207)}{\sqrt{0.945^2 + 0.207^2}} = 0.202 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, de la ecuación (6.18) tenemos:

$$Q_{SO} = G N A_{SBOe} = 4.30(2)(0.202)$$

$$Q_{SO} = 1.7372 \text{ m}^3/\text{s} = 3.690 \text{ CFM}$$

- Análisis para puertas abiertas directamente al exterior

Para el flujo a través de una puerta abierta directamente al exterior, aplicamos la ecuación (6.20), en donde el coeficiente de flujo, C , le damos el valor de 0.65.

Primero hallamos ΔP_{SO} , el cual será evaluado a la mitad de la altura de la puerta:

$$\Delta P_{SO} = 12.45 + 0.2435(1.05)$$

$$\Delta P_{SO} = 12.71 \text{ Pa} = 0.051" \text{ C.A.}$$

Entonces, hallamos el caudal considerando una atmósfera estándar.

$$Q_{SO} = 0.65(0.945) \sqrt{\frac{2(12.71)}{1.2}}$$

$$Q_{SC} = 2.83 \text{ m}^3/\text{s} = 6.011 \text{ CFM}$$

Por lo tanto, hallamos el caudal total necesario para la presurización de la escalera en época de invierno, sumando los caudales hallados, no sin antes aplicar el factor de seguridad a cada uno de estos, según sea el caso.

$$\begin{aligned} Q_{\text{puertas cerradas}} &= 1.5 (3,186) = 4,779 \text{ CFM} \\ Q_{\text{puertas abiertas}} &= 1.5 (3,690) = 5,535 \text{ CFM} \\ Q_{\text{puertas exterior}} &= 1.1 (6,011) = 6,612 \text{ CFM} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{INVIERNO}} = 16,926 \text{ CFM}$$

b. Caudal de Presurización en época de Verano

Primero calculamos el factor de temperatura, b , para la época de verano, según las temperaturas de diseño definidas en la sección 7.2. Según la ecuación (6.12) el factor de temperatura, b , depende de la temperatura del edificio, de la temperatura externa y de un factor K_s , que se calcula según la ecuación:

$$K_s = \frac{g P_{atm}}{R}$$

donde g es la aceleración de la gravedad, P_{atm} es la presión atmosférica y R es la constante del aire. Para una atmósfera

estándar y considerando que la gravedad no varía con la altura del edificio, tenemos que $K_s = 3460$.

Por lo tanto, el factor de temperatura, b lo podemos obtener aplicando la ecuación (6.12):

$$b = 3460 \left(\frac{1}{30 + 273} - \frac{1}{22 + 273} \right) \quad b = -0.31$$

A continuación vamos a dividir el cálculo del caudal de presurización en diferentes partes, según la condición de puerta cerrada, abierta o puerta que da al exterior.

- Análisis para puertas cerradas

Como para el cálculo de la presurización en verano las puertas abiertas deberán estar ubicadas en la parte inferior de la escalera, para que el cálculo sea conservativo, se considerará que las puertas cerradas serán las del piso 4 hasta el nivel de la azotea, siendo las puertas abiertas las del piso 2 y piso 3, junto con la puerta del primer piso, ya que esta siempre se encontrará abierta por ser la puerta de escape.

Ahora, definimos los parámetros que necesitamos para posteriormente realizar los cálculos.

$$N = 15$$

$$\Delta P_b = \Delta P_{SB} \text{ para } y = 9.60\text{m (nivel 4)}$$

$$\Delta P_t = \Delta P_{SB} \text{ para } y = 58.65 \text{ m (nivel 18 - Azotea)}$$

$$A_e = A_{SB}$$

$$\Delta P_{\min} = \Delta P_t = 0.05'' \text{ C.A.} = 12.45 \text{ Pa (época de verano)}$$

$$\Delta P_{\max} = \Delta P_{SB} \text{ para } y = 0 \text{ (nivel 1)}$$

De la ecuación (6.7), tenemos:

$$12.45 = \Delta P_{\max} + \frac{(-0.31)(58.65)}{1 + (0.0273/0.207)^2}$$

$$\Delta P_{\max} = 30.32 \text{ Pa} = 0.122'' \text{ C.A.}$$

$$\Delta P_b = 30.32 + \frac{(-0.31)(9.60)}{1 + (0.0273/0.207)^2}$$

$$\Delta P_b = 27.39 \text{ Pa} = 0.110'' \text{ C.A.}$$

Con ΔP_b y ΔP_t , utilizamos la ecuación (6.19) para calcular el factor de flujo:

$$G = 0.559 \left(\frac{12.45^{3/2} - 27.39^{3/2}}{12.45 - 27.39} \right) = 3.72 \text{ m/s}$$

Por lo tanto, de la ecuación (6.18) tenemos:

$$Q_{SB} = G N A_{SB} = 3.72 (15)(0.0273)$$

$$Q_{SB} = 1.523 \text{ m}^3/\text{s} = 3.236 \text{ CFM}$$

- Análisis para las puertas abiertas

Las puertas abiertas son las del nivel 2 y nivel 3, tal como lo habíamos indicado anteriormente.

Ahora, definimos los parámetros que necesitamos para posteriormente realizar los cálculos.

$$N = 2$$

$$\Delta P_b = \Delta P_{SO} \text{ para } y = 3.20 \text{ m (nivel 2)}$$

$$\Delta P_t = \Delta P_{SO} \text{ para } y = 9.60 \text{ m (nivel 3)}$$

$$A_e = A_{SBOe}$$

$$\Delta P_{\max} = \Delta P_{SB} \text{ para } y = 0 \text{ (nivel 1)}$$

Del cálculo anterior, $\Delta P_{\max} = 30.32 \text{ Pa}$

Entonces, de la ecuación (6.8), tenemos:

$$\Delta P_{SOB} = 30.32 \left[1 + (0.0273/0.207)^2 \right]$$

$$\Delta P_{SOB} = 30.85 \text{ Pa} = 0.124" \text{ C.A.}$$

Calculamos la diferencia de presión ΔP_b y ΔP_t , según la ecuación (6.4):

$$\Delta P_b = 30.32 + (-0.31)(3.20)$$

$$\Delta P_b = 29.33 \text{ Pa} = 0.118" \text{ C.A.}$$

$$\Delta P_t = 30.32 + (-0.31)(9.60)$$

$$\Delta P_t = 27.34 \text{ Pa} = 0.110" \text{ C.A.}$$

Con estos resultados, utilizamos la ecuación (6.19) para calcular el factor de flujo:

$$G = 0.559 \left(\frac{27.34^{3/2} - 29.33^{3/2}}{27.34 - 29.33} \right) = 4.46 \text{ m/s}$$

También obtenemos A_{SBOe} de la ecuación 6.6

$$A_{SBOe} = \frac{0.945(0.207)}{\sqrt{0.945^2 + 0.207^2}} = 0.202 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, de la ecuación (6.18) tenemos:

$$Q_{SO} = G N A_{SBOe} = 4.46(2)(0.202)$$

$$Q_{SO} = 1.802 \text{ m}^3/\text{s} = 3.830 \text{ CFM}$$

- Análisis para puertas abiertas directamente al exterior

Para el flujo a través de una puerta abierta directamente al exterior, aplicamos la ecuación (6.20), en donde el coeficiente de flujo, C , le damos el valor de 0.65.

Primero hallamos ΔP_{SO} , el cual será evaluado a la mitad de la altura de la puerta:

$$\Delta P_{SO} = 30.32 + (-0.31)(1.05)$$

$$\Delta P_{SO} = 29.99 \text{ Pa} = 0.120'' \text{ C.A.}$$

Entonces, hallamos el caudal considerando una atmósfera estándar.

$$Q_{SO} = 0.65 (0.945) \sqrt{\frac{2(29.99)}{1.2}}$$

$$Q_{SO} = 4.34 \text{ m}^3/\text{s} = 9.220 \text{ CFM}$$

Por lo tanto, hallamos el caudal total necesario para la presurización de la escalera en época de verano, sumando los caudales hallados, no sin antes aplicar el factor de seguridad a estos, según sea el caso.

$Q_{\text{puertas cerradas}}$	$= 1.5 (3,236)$	$= 4,854 \text{ CFM}$
$Q_{\text{puertas abiertas}}$	$= 1.5 (3,830)$	$= 5,745 \text{ CFM}$
$Q_{\text{puertas exterior}}$	$= 1.1 (9,220)$	$= 10,142 \text{ CFM}$

$$Q_{\text{VERANO}} = 20,741 \text{ CFM}$$

Después de haber calculado el caudal de presurización necesario para cada estación, podemos observar que el caudal para la época de verano es mayor al caudal para la época de invierno.

Por lo tanto, el caudal de diseño será:

$$Q_{\text{DISEÑO}} = 20,741 \text{ CFM}$$

7.4. Diseño del sistema de inyección de aire

En esta sección, procederemos a diseñar el sistema de inyección, el cual constará de un ventilador, el cual inyectará el aire por medio de los ductos y a través de las rejillas de inyección, el aire ingresará a la escalera, logrando la diferencia de presión deseada entre la escalera y el edificio.

El sistema de presurización, por las facilidades de arquitectura y por el hecho de que el edificio tiene una regular cantidad de niveles, será de inyección múltiple, para lograr así una presurización óptima en cada nivel a pesar de que algunas puertas sean abiertas para realizar la evacuación en el caso de algún siniestro.

Además, este sistema de presurización será de volumen variable, ya que como está diseñado considerando algunas puertas abiertas, cuando estas se cierran, el caudal de aire inyectado deberá disminuir para evitar sobre presurización que pueda dificultar la apertura de puertas. Asimismo, si alguna otra puerta se abre, la presurización caerá, por lo tanto, para compensar esta caída de presión en el interior de la escalera, el caudal de aire inyectado deberá aumentar. Esto se logrará implementando un sistema automático que controle la velocidad del motor eléctrico que acciona al ventilador, variando su velocidad según las condiciones que se puedan presentar, para mantener una diferencia de presión casi constante en cada nivel durante todo el tiempo de funcionamiento del sistema de presurización.

7.4.1. Ventilador

El ventilador, según el caudal calculado y ya que este inyectará aire a lo largo de un ducto, será del tipo centrífugo, de preferencia de doble entrada y doble ancho, con alabes curvados hacia atrás con perfil aerodinámico para tener una mayor eficiencia.

El ventilador, tal como lo habíamos indicado anteriormente, se encontrará ubicado en la azotea del edificio. La ubicación exacta se definirá tomando en cuenta que la toma de aire del ventilador tenga una nula o mínima posibilidad de que se pueda inundar de humo proveniente de un incendio, para así evitar que el mismo ventilador ingrese aire con humo a la escalera. Por lo tanto, la toma deberá estar alejada de algún equipo eléctrico o que opere con un motor a

combustión. Así mismo, se deberá evitar que la toma de aire este cercana a ventanas del interior del edificio.

Para asegurarnos que por ningún motivo, el ventilador inyecte humo al interior de la escalera, se deberá instalar un sensor de humos en el ducto de inyección lo más cercano a la escalera, para que en el caso de que este sensor de humo se active, el ventilador deje de operar evitando el ingreso de humo.

Por último, se recomienda construir una caseta de protección para el ventilador con puertas de malla, para así proteger al equipo del medio ambiente o de la intervención de personal ajeno, y permitir el ingreso del aire hacia el ventilador.

7.4.2. Ductos de presurización

El sistema de presurización, según lo mencionado en secciones anteriores, utilizará el cuarto de limpieza ubicado en cada nivel de la escalera para habilitar el ducto de presurización, según lo detallado en las figuras 7.5 y 7.6.

Por lo tanto, se romperá la loza en cada nivel de la escalera en el espacio destinado para el ducto de presurización y se cerrara este espacio señalado habilitando un ducto continuo y de sección constante, desde el nivel de la azotea hasta el primer piso. El

cerramiento se realizará con dry-wall cortafuego o con un muro de ladrillo de 15 cm de espesor como mínimo.

La velocidad máxima en los ductos será de 2,000 pies/min.

Además, para poder conducir el aire desde el ventilador hacia este ducto montante de presurización, se deberá considerar un ducto adicional, el cual será fabricado de plancha galvanizada, rigiéndose a las recomendaciones de las normas SMACNA (Sheet metal and air conditioning Contractors National Association, INC), según la tabla 7.1.

LADO MAYOR	ESPEJOR	EMPALMES Y CORREDERAS
Hasta 12"	1/54"	Correderas a 1" a máximo 2.40 m
13" hasta 30"	1/40"	Correderas 1" a máximo 2.40 m
31" hasta 51"	1/27"	Correderas 1" a máximo. 2.40 m
52" hasta 84"	1/20"	Correderas 1 ½ " a máximo 1.20 m con refuerzos de ángulos de 1 x 1/8" entre correderas

Tabla 7.1 Valores recomendados para la fabricación de ductos según SMACNA

Además, se deberán sellar las uniones entre ductos con silicona especial resistente a alta temperatura, y que tenga una duración de 2 horas como mínimo.

7.4.3. Rejillas de Inyección de Aire

Se inyectará aire en cada nivel de la escalera, desde la azotea hasta el primer piso. Esto se realizará mediante rejillas metálicas que se instalarán en una de las paredes del ducto montante de presurización. Estas rejillas tendrán un damper manual, el cual servirá para balancear el flujo de aire inyectado en cada nivel.

La velocidad de diseño en cada rejilla será de 1,000 pies/min como máximo.

7.4.4. Suministro eléctrico

El suministro eléctrico para el motor del ventilador deberá tener algunas consideraciones especiales.

Se deberá considerar dos fuentes de suministro independientes, una de ellas deberá ser la que viene de la red de servicios generales, la cual está colgada a la red de la compañía eléctrica, y la otra fuente deberá provenir del generador eléctrico, el cual se activará en el caso de algún siniestro. Estas dos fuentes independientes llegarán hacia un Tablero Eléctrico de Transferencia Automática, el cual realizará la transferencia de una fuente a otra, en caso de falla de una de ellas, para poder así energizar siempre el motor eléctrico del ventilador, sea cual fuere el siniestro presentado.

Además, la acometida eléctrica deberá ser realizada de tal forma que no sea interrumpida en el caso de que se produzca un incendio en los alrededores de esta. Se cubrirá esta acometida eléctrica con un dado concreto de 5.0 cm. de espesor o en su defecto se utilizara tubería y cables especiales para este tipo de instalación.

7.5. Selección del equipamiento

Según los cálculos y las consideraciones presentadas para el diseño del sistema de inyección, definimos y seleccionamos el equipamiento que se van a utilizar en el sistema de presurización de escaleras planteado.

7.5.1. Ductos

Las dimensiones y características de los ductos metálicos y el ducto montante de concreto son mostradas en los planos adjuntos al informe. Estas dimensiones han sido calculadas según el caudal de aire suministrado por el ventilador, así como las velocidades recomendadas para evitar mayores caídas de presión o generar un nivel de ruido molesto para los ocupantes.

7.5.2. Rejillas

Las dimensiones y características de las rejillas también serán mostradas en los planos adjuntos al informe. Habrá una rejilla para cada nivel. Esto quiere decir que un total de 18 rejillas se instalarán,

y tomando en cuenta el caudal suministrado por cada piso (caudal total dividido por 18) y la velocidad recomendada (1,000 pies/min), las dimensiones de cada rejilla, considerándolas cuadradas para una menor caída de presión, serán de 0.35m x 0.35m. Estas deberán tener un damper de regulación manual para poder balancear la salida de aire en cada nivel.

7.5.3. Ventilador

El ventilador, según los cálculos realizados, suministrará un caudal de aire de 20,741 CFM (35,150 m³/h).

El otro parámetro necesario para definir en su totalidad el ventilador es la presión estática a la salida del ventilador, que es el parámetro que totaliza todas las caídas o pérdidas de presión generado por el sistema (ductos, rejillas, etc), para así poder mantener el caudal requerido.

Como la finalidad del presente informe es dar las pautas para el diseño de la presurización de la escalera, así como el cálculo del caudal de aire necesario para lograr una presurización óptima, no vamos a detallar en esta sección el cálculo de la caída de presión a través del sistema. Este cálculo está detallado en el anexo C.

Por lo tanto, la caída presión a través de los ductos metálicos, del ducto montante de concreto, de las rejillas, así como a través de la caja de la escalera es de 2.22" C.A. (552.95 Pa).

Entonces podemos indicar que se necesita un ventilador con las siguientes características:

Un (01) Ventilador Centrifugo de Doble ancho y doble entrada con alabes curvados hacia atrás con perfil aerodinámico "air foil", con los siguientes parámetros:

Caudal	20,741 CFM
Presión estática a la salida	2.22" C.A.

Para la selección del ventilador, así como para verificar la potencia que deberá tener el motor eléctrico, utilizamos un software de selección de ventiladores de la marca americana GREENHECK. La hoja de selección suministrada por el software se adjunta en el anexo D.

Por lo tanto, según la hoja de selección, las características principales del ventilador son las siguientes:

Modelo	27-AFDW-21
Caudal	20,741 CFM
Presión Estática	2.22" C.A.
Diámetro Rotor	27"

Potencia del Motor	15 HP
R.P.M. del Motor	1,725
R.P.M. del Rotor	1,332

7.6. Automatización del sistema

Tal como se mencionó anteriormente, el sistema de presurización de escaleras a implementarse será de volumen variable. Para este caso, utilizaremos un variador de velocidad para que accione al motor eléctrico del ventilador, el cual, por la señal de un transmisor de presión diferencial, se retroalimentará para poder mantener una diferencia de presión casi constante entre la escalera y el edificio. Este tipo de sistema es un sistema de lazo cerrado.

Para definir la diferencia de presión (set point) en la cual el variador de velocidad deberá mantener entre la escalera y el edificio, aplicaremos la ecuación (6.7).

El transmisor de presión diferencial será instalado en la mitad del edificio para poder tomar una lectura promedio. Este transmisor se instalará en el nivel 9 ($y = 28.90\text{m}$) del edificio. Por lo tanto, la diferencia de presión en la época de verano en este nivel es:

$$\Delta P_9 = 30.32 + \frac{(-0.31)(28.90)}{1 + (0.0273/0.207)}$$

$$\Delta P_9 = 21.51\text{Pa} = 0.086'' \text{ C.A.}$$

Por lo tanto, el variador de frecuencia se deberá programar para que mantenga una diferencia de presión de 0.086" C.A.

Cuando las puertas de escape se abran, se generará un flujo de aire de la escalera de escape hacia el interior del piso respectivo. Este hecho generará una caída de la presión positiva en la escalera, la cual será detectada por el sensor de presión diferencial, el cual enviará una señal al variador de velocidad del motor del ventilador para que éste se acelere hasta que se restablezca la presión positiva especificada.

El sistema de presurización también podrá ser empleado para ventilar la escalera de escape, haciendo funcionar el ventilador a baja velocidad por medio del variador de velocidad y comandando su encendido y apagado mediante un temporizador horario de 24 horas.

También se deberá suministrar un detector de humos a la entrada del ventilador, el cual deberá ordenar la parada de éste en caso de detectarse humo a su alrededor y de este modo evitar que se inyecte a la escalera de escape el humo producido.

El tablero eléctrico del sistema de presurización de escaleras, deberá estar interconectado al panel de alarmas del sistema contra incendio, para que cuando se active una alarma de incendio, cierre un contacto seco que llegará al tablero de control del sistema de presurización y este arranque para presurizar la escalera.

La figura 7.7 muestra el esquema de conexión de control entre el panel del sistema contra incendio y el sistema de presurización de escaleras.

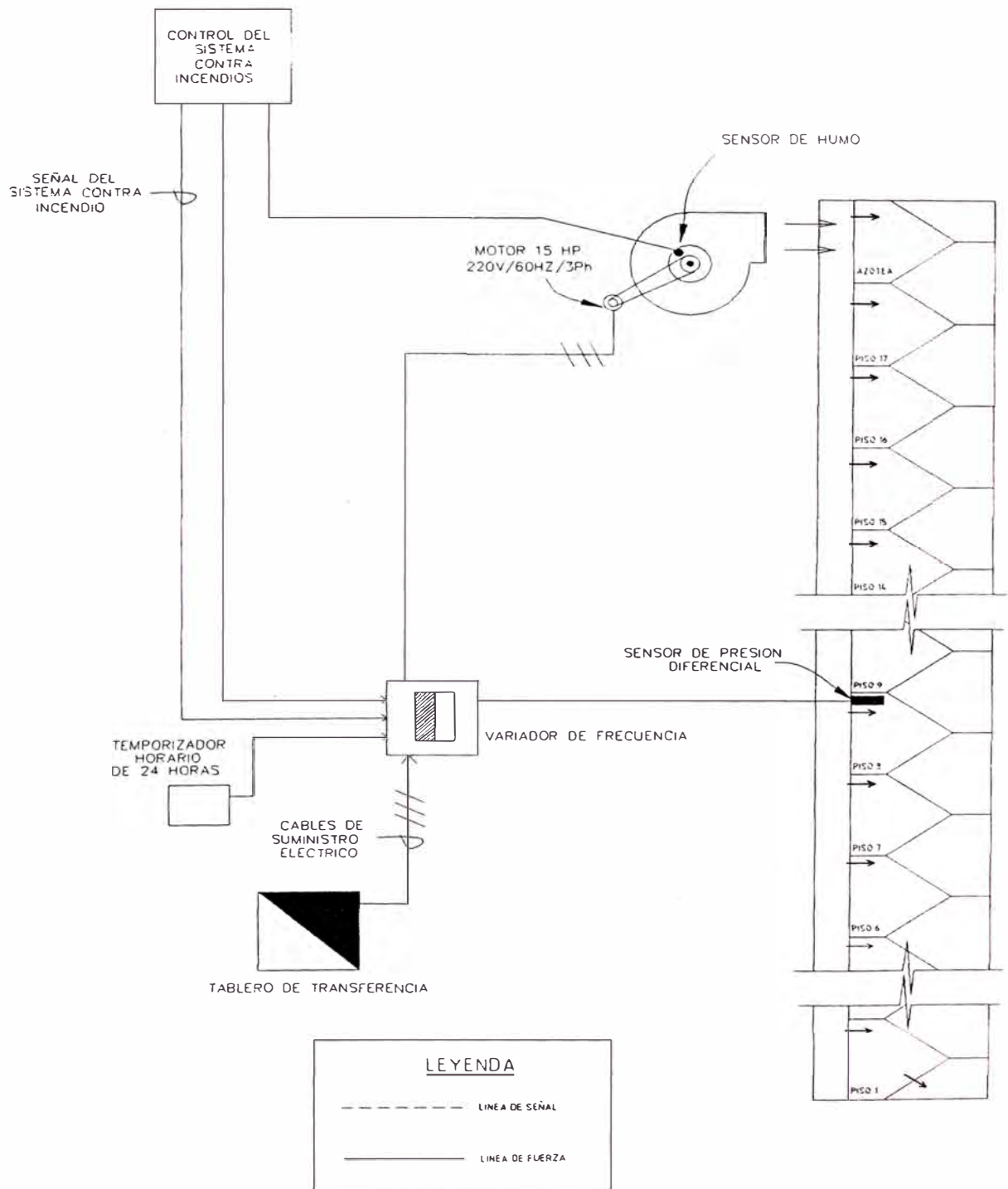


Figura 7.7 Diagrama de Control de Sistema de Presurización de Escaleras

CAPITULO 8

MÉTODOS PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS AL SISTEMA

Las inspecciones en la puesta en marcha y las pruebas de rutina son necesarias para asegurar que el sistema de control de humos funcionará como se ha previsto en las situaciones de incendio.

Muchos de los problemas encontrados durante las pruebas de entrega provienen de la mala concepción sobre la capacidad para controlar el humo y por el mal entendido sobre la función prevista de un sistema en particular.

En esta parte trataremos de dar las pautas para que tipo de medida deben ser realizadas y como hacerlos.

Las inspecciones en la puesta en marcha para nuevos sistemas deben incluir:

- Inspección de los componentes del sistema
- Pruebas de la operación del sistema
- Balance del sistema para asegurar el buen funcionamiento.

8.1. Instrumentos

8.1.1. Diferencia de Presión

- Manómetro inclinado de líquido
- Indicadores de presión diferencial
- Transductor electrónico de presión

8.1.2. Caudal

- Balómetro

8.1.3. Velocidad del Aire

- Anemómetro con deflector
- Tubo de pitot
- Anemómetro de hilo caliente
- Anemómetro axial

8.1.4. Fuerza de Apertura de puertas

- Dinamómetro

8.2. Pasos para realizar las pruebas

8.2.1. Inspección

La inspección consiste en revisar los componentes del sistema de control de humos, en este caso, los componentes del sistema de presurización de escaleras, que incluye las barreras, los equipos de movimiento de aire, los controles y la alimentación eléctrica.

8.2.1.1. Barreras

- Chequear las paredes, particiones, pisos y techos de las barreras de los sistemas de control de humos para detectar alguna abertura inusual que pueda afectar el funcionamiento del sistema.
- Chequear que las ranuras alrededor de las puertas no excedan los límites especificados. Si algún sellado es requerido, chequear que es el especificado.
- Chequear que los brazos cierra puertas automáticas en las barreras del sistema de control de humos sean como lo especificado.

8.2.1.2. Equipamiento para el movimiento del aire

- Chequear los ductos para verificar que el material y la construcción son las especificadas.

- Chequear la instalación de los ductos. Esto incluye a los soportes, y que los pases a través de paredes, pisos o particiones sean de la manera especificada.
- Revisar al ventilador, como a sus componentes. Que el tipo de ventilador sea el especificado y que todos sus componentes se encuentren en buen estado, tal como las chumaceras, el rotor, la pintura para evitar posibles puntos de corrosión. Además, se deberá verificar que el correcto montaje, ya sea sobre el piso o en otra ubicación, sea según lo especificado.
- Chequear los filtros de aire, para verificar si estos son lo la clasificación especificada.

8.2.1.3. Controles

- Verificar los controles manuales. Chequear los dispositivos de activación y desactivación manual del sistema de control de humos.
- Verificar los controles automáticos. Verificar los dispositivos para la activación y desactivación automática del sistema de control de humos.

8.2.2. Pruebas

Para realizar las pruebas en el sistema de presurización de escaleras, seguiremos los siguientes pasos:

- Con todas las puertas cerradas (excepto para la puerta de escape ubicada en el primer nivel), medimos y apuntamos las diferencias de presión a través de cada puerta cerrada.
- Con el dinamómetro, verificar que la fuerza de apertura en las puertas no sea mayor a la especificada. El punto de apoyo del dinamómetro será aquel en donde las personas utilizan para abrir las puertas. (manija o barra anti pánico).
- Abrir una puerta adicional de la escalera, medir y registrar la diferencia de presión a través de cada puerta cerrada. Repetir este paso hasta que completemos el número de puertas abiertas de diseño.
- Verificar que la medida de la diferencia de presión se encuentra en los rangos aceptables según lo especificado. Si la diferencia de presión no se encuentra en el rango aceptable, verificar doblemente el estado de los ventiladores, de los dampers y de las puertas. Después de esto, si la diferencia de presión no es aceptable, el flujo de aire que ingresa a la escalera debe ser medido y ajustado apropiadamente.

CAPITULO 9

EVALUACION TECNICA ECONOMICA

9.1. Especificaciones técnicas de los equipos

9.1.1. Ventilador

El ventilador a suministrarse será de doble entrada y doble ancho, con rotores de alabes de perfil aerodinámico curvados hacia atrás (Backward Air Foil) fabricados de plancha de acero negro, con dos manos de pintura anticorrosiva y acabado de esmalte sintético.

La unidad estará compuesta por el rotor, la carcasa, estructura de soporte y el sistema de accionamiento compuesto por motor eléctrico, fajas y poleas. Se incluirán guarda fajas que cubran totalmente las poleas y las fajas.

El ventilador deberá ser de bajo nivel de ruido y será suministrado balanceado estática y dinámicamente, con el fin de garantizar un funcionamiento exento de vibraciones o ruidos anormales.

El motor eléctrico del ventilador deberá ajustarse a los estándares NEMA y será adecuado para operar a 220V, 60Hz, 3 fases, con una velocidad de rotación de 1,750 RPM y con aislamiento clase F.

El sistema de regulación de la tensión de la faja será mediante desplazamiento del motor sobre rieles acanalados a los cuales se ajusta mediante pernos.

Las características técnicas del ventilador será las siguientes:

Caudal	: 20,741 CFM
Presión estática en la descarga	: 2.22" de columna de agua
Motor eléctrico	: 15 HP
Suministro eléctrico	: 220V, 60Hz, trifásica
Velocidad de rotación	: 1,750 RPM

9.1.2. Variador de Velocidad

El variador de frecuencia a suministrarse deberá ser adecuado para comandar motores de 15HP, 220V, 60Hz, trifásicos y tener capacidad para convertir tensión trifásica que varíe entre + 10% a 60Hz, en tensión y frecuencia variable de salida. Deberán suministrar una tensión de salida completa al motor, incluido a una tensión de alimentación de -10%.

La relación tensión frecuencia deberá ser adecuada para el control de las velocidades de rotación de los ventiladores centrífugos.

El variador debe suministrar al motor una corriente de forma sinusoidal y un flujo magnético totalmente circular para obtener el par completo del motor a la frecuencia nominal, sin que éste se caliente más que en condiciones de funcionamiento normal conectado a la red.

El variador de frecuencia deberá cumplir las siguientes condiciones:

- Eficiencia mínima de 96% a 100% de carga y 92% a 20% de carga.
- Tensión de entrada 208/220/230V + 10%.
- Temperatura ambiente durante la operación de -10°C a 40°C y Humedad relativa máxima de 95%.
- Frecuencia de salida de 0-132Hz.
- Tensión de salida trifásica ajustable de 0-100%
- El torque de salida se debe limitar al 110% del torque nominal del motor.
- El variador puede usar señales de control 0 a 10 VDC, 1 a 5 VDC y 4 a 20mA.
- Debe tener dos relays de salida programables. Deben ser programables dos salidas analógicas para poder visualizar los parámetros en el sistema de control inteligente.

- Posibilidad de programar 20 velocidades prefijadas diferentes. Incluso inversión de giro.
- Capacidad para evitar al menos cuatro (04) frecuencias, con ancho de banda ajustable, para evitar la resonancia mecánica.
- Poseer una función de bloqueo de parámetros (password) para impedir una programación no intencionada.
- Cumplir los requisitos de EMC y RFI de acuerdo a la norma EN55011.
- Capacidad para tomar el control del ventilador independientemente del sentido de rotación del mismo.
- Contar con un control con procesador de 32 bits y circuitos ASIC que garanticen el voltaje de motor completo y una corriente de motor de forma sinusoidal.
- Tener un alojamiento metálico que actúe como caja de Faraday.
- Tener ventiladores incorporados para su enfriamiento.
- Poseer protección integrada contra lo siguiente: transitorios de red de acuerdo con VDE 0160, falta de fase en el cable de alimentación de la red, falta de fase en el cable de motor, fuga a tierra o cortocircuito en fases del motor. Si se pierde la velocidad de la referencia, mantener la velocidad del motor o regular la parada de acuerdo a la programación.
- Emitir una señal de advertencia o parar el motor, si éste se sobrecalienta. Esta función debe ser parte integrante de convertidor de frecuencia, evitándose la necesidad de un termistor en el motor.

- Tener un factor de potencia ($\cos\phi$) de 1.00 en el lado de la alimentación a todas las cargas y velocidades.
- Tener un controlador PID incorporado de fábrica para obtener un control de lazo cerrado.
- El variador no debe sufrir daños si se da una señal de arranque sin que el motor esté conectado.

Asimismo, el variador de frecuencia deberá incluir:

- Desconexión a 75°C en el disipador de calor.
- Protección contra sub voltaje
- Protección contra sobre voltaje
- Display alfanumérico
- Elección de hasta cuatro (04) variables para visualización
- Bloqueo para impedir la programación accidental del variador.
- Cuatro (04) rampas ajustables individualmente de aceleración y desaceleración.

9.1.3. Transmisor de Presión Diferencial

El sensor de presión diferencial deberá ser de estado sólido con un rango de 0 a 0.34 pulgadas de columna de agua y una aproximación de + 1%.

La tensión de operación será de 10 a 35 VDC con señal de salida de 4 a 20mA.

Deberán ser capaces de soportar una sobre presión de hasta 8" de columna de agua.

La toma de la señal de presión será de 1/8"Ø o 5/32"Ø (diámetro interior) o de 1/4"Ø de diámetro exterior para tubo de poliuretano.

9.2. Catálogos

Los catálogos, tanto del ventilador, del variador de frecuencia y del transmisor de presión diferencial, serán indicados en el Anexo D.

9.3. Presupuesto

Para la implementación del sistema de presurización de escaleras en el edificio Torre Central del Centro Comercial Camino Real se tiene el siguiente el presupuesto que se adjunta en el anexo E.

El propietario deberá realizar los siguientes trabajos, los cuales no están en el alcance de la propuesta:

- Prever punto de alimentación eléctrica, proveniente del medidor, en el tablero de transferencia automática.
- Prever un punto de alimentación eléctrica, proveniente del grupo electrógeno, en el tablero de transferencia automática.
- Realizar acometida eléctrica desde tablero de transferencia automática hacia la ubicación del ventilador.

- Apertura de pases en las paredes para la instalación de las rejillas de inyección.
- Apertura de pases en los pisos para el ducto de presurización.
- Suministro e instalación de las puertas de escape con sus respectivos mecanismos de cierre de puertas.
- Construcción de cuartos de máquina para los ventiladores, con puertas de malla de alambre.
- Construcción de una losa de concreto como base para el ventilador centrífugo.

CAPITULO 10

OTROS SISTEMAS DE CONTROL DE HUMOS

10.1. Control zonal del humo

El sistema de presurización de escaleras es principalmente previsto para prever la infiltración del humo dentro de las columnas en el edificio. Sin embargo, el humo puede fluir a través de grietas en pisos y a través de columnas no presurizadas para dañar la propiedad y amenazar la vida en las locaciones remotas al fuego. El concepto del control zonal del humo es previsto para limitar este tipo de movimiento del humo en un edificio.

10.2. Control de humo del elevador

Este sistema maneja dos objetivos en el tema del control del humo. Uno de los objetivos es el de proveer protección contra el humo para el sistema de ascensores para que este pueda ser usado para evacuaciones en el caso de incendio.

El otro objetivo de un sistema de control de humos por el elevador o ascensor es prevenir el flujo de humo hacia otros pisos por medio de la caja

de los ascensores. Los problemas que pueden resultar de la migración del humo a través de las cajas de los ascensores son los mismos que se podrían producir en la caja de la escalera si es que esta no está presurizada. El fuego puede ocurrir en el primer piso, pero el humo migra hacia los pisos superiores donde la mayoría de fatalidades ocurren.

10.3. Control de humos en espacios amplios

Las escaleras presurizadas y el sistema de control zonal de humos usan la diferencia de presión a través de pequeñas aberturas y grietas en barreras físicas como medio para restringir la propagación del humo desde un espacio a otro. Sin embargo, este método no es apropiado para muchos atrios y otros espacios muy grandes, por la dificultad de lograr una adecuada diferencia de presión a través de las barreras que tiene grandes aberturas.

El método para este caso consiste en extraer el humo desde una región superior del espacio amplio con la finalidad de restringir la propagación del humo a una columna de humo, que se inicia sobre el fuego, y continúa con una capa de humo justo debajo del cielo del espacio.

La principal idea es mantener lo mas bajo la capa de humo libre, para que los ocupantes puedan salir en forma segura y en el cual los bomberos puedan ver para apagar el incendio.

CONCLUSIONES

1. Es muy importante contemplar un sistema de control de humos en edificaciones que principalmente sean destinadas para oficinas, ya que estas tienen una alta densidad de personas, y en el caso de algún incendio, se pueda minimizar los efectos producidos por el fuego y principalmente por el humo.
2. En el proceso de diseño y cálculo, es prácticamente imposible estimar todas las rutas de infiltración correctamente. Por lo tanto los cálculos para el flujo de aire para el control del humo son solo aproximados. Por ello la importancia de los factores de seguridad.
3. Un sistema de control de humos no es suficiente para asegurar la protección total contra el fuego y el humo. Estos sistemas se deben complementar con otros tipos de sistemas como son las barreras contra fuego, rutas de escape debidamente señaladas, sistema de rociadores y de agua contra incendio, sistema de detección y de alarma de incendio, etc.
4. La fiabilidad de la fuente de potencia eléctrica para activar el ventilador del sistema de presurización de escaleras durante una emergencia debe se

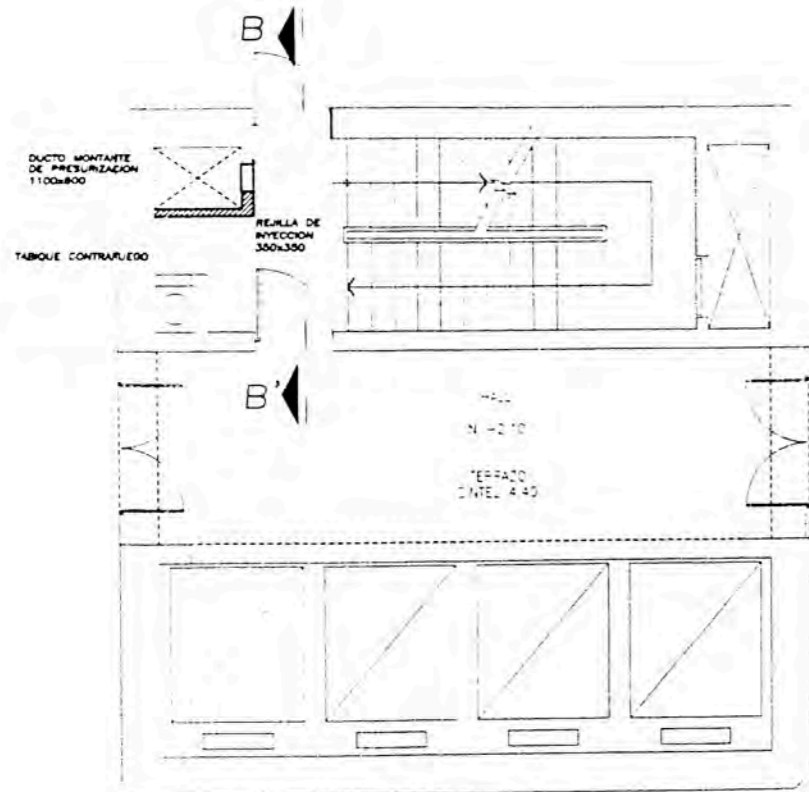
cuidadosamente estudiado. Cualquiera sea la ocurrencia, el suministro de energía al ventilador o ventiladores de presurización no debe ser interrumpido.

5. Todo sistema de control de humos, y en nuestro caso el sistema de presurización de escaleras, no va a ser efectivo si es que no se inculca una cultura de prevención a los ocupantes del edificio. Además de esto, es necesario que se realice un entrenamiento para coordinar la forma de evacuación en el edificio, para que así todos los sistemas de prevención y control de humos puedan lograr el objetivo final, que es la preservación de la vida humana y minimizar las pérdidas materiales.

BIBLIOGRAFÍA

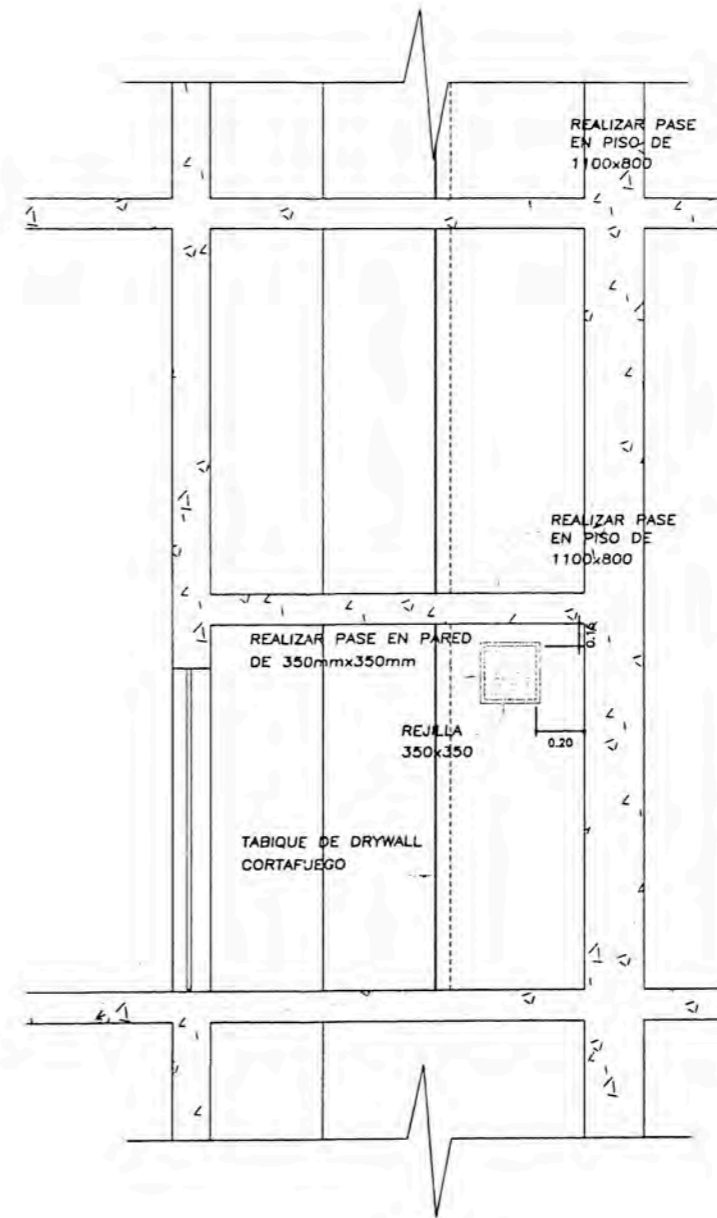
- Design of Smoke Management Systems. John H. Klote y James A. Milke. 1992. ISBN.
- ASHRAE Handbook – HVAC Systems y Applications. ASHRAE. 1999.
- Recommended practice for smoke control systems NFPA 92A. NFPA 1996.
- Energy Impacts of infiltration and Ventilation in U.S. Office Buildings Using Multizone Airflow Simulation. Steven J. Emmerich y Andrew K. Persily. 1998.
- Presurización de Escaleras en Edificios. Emilio Enrique Gonzáles. 2003.
- Stairwell Pressurization. Pranab K. Chowdhury. Journal - Air Conditioned and Refrigeration. The magazine of the Indian Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. 1999.
- Smoke Management Fundamentals. Section of Engineering Manual of Automatic Control. Honeywell Inc.1998.
- Industrial Ventilation. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc. 1992.

PLANOS



PLANTA PISO 1

ESC. 1/100



CORTE B-B' DETALLE DE REJILLA DE SUMINISTRO DE AIRE

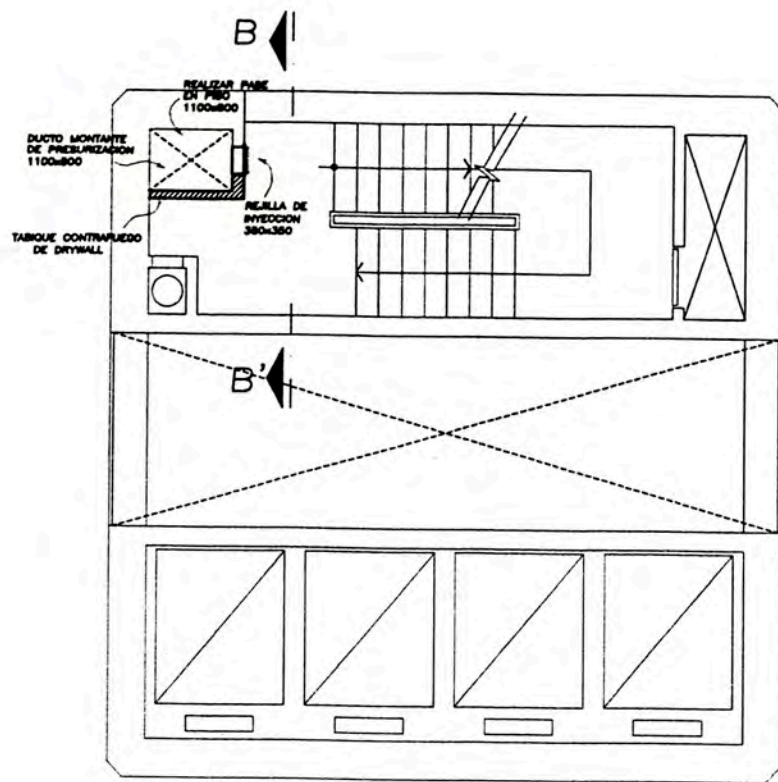
ESC. 1/50

**TORRE CENTRAL
CENTRO COMERCIAL CAMINO REAL
SISTEMA DE PRESURIZACION DE
ESCALERAS
PLANTA Y CORTE : PISO 1**

ESCALA : 1/100 FECHA : 05 DE OCTUBRE DEL 2006.

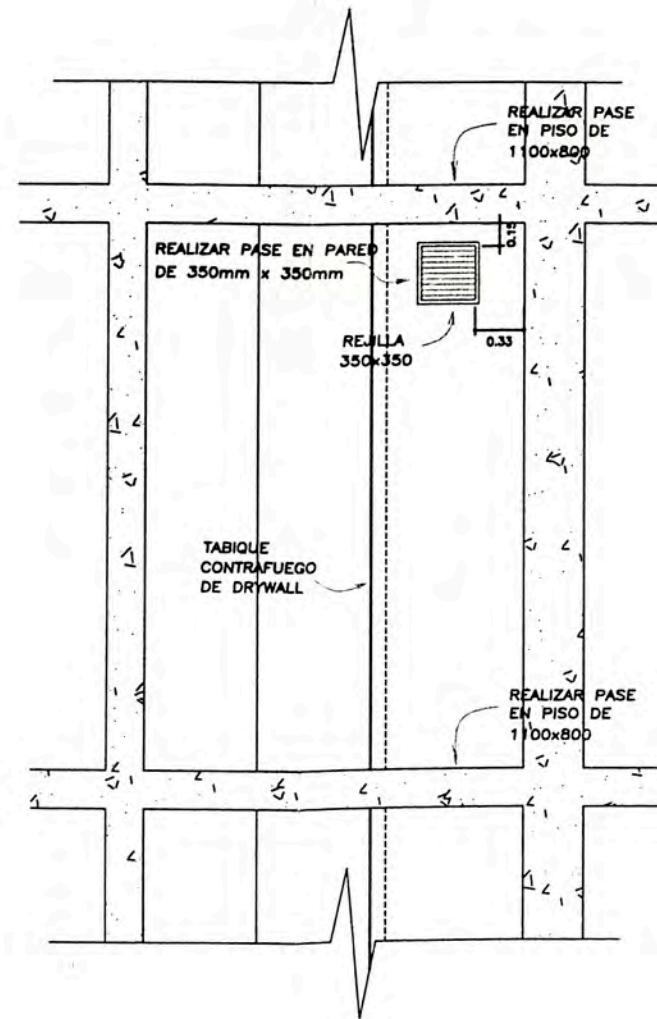
SP-01
DE : 10

Nº :
Nº :
Nº :



PLANTA TIPICA PISO 2

ESC. 1/100



CORTE B-B' DETALLE DE LA REJILLA DE SUMINISTRO DE AIRE

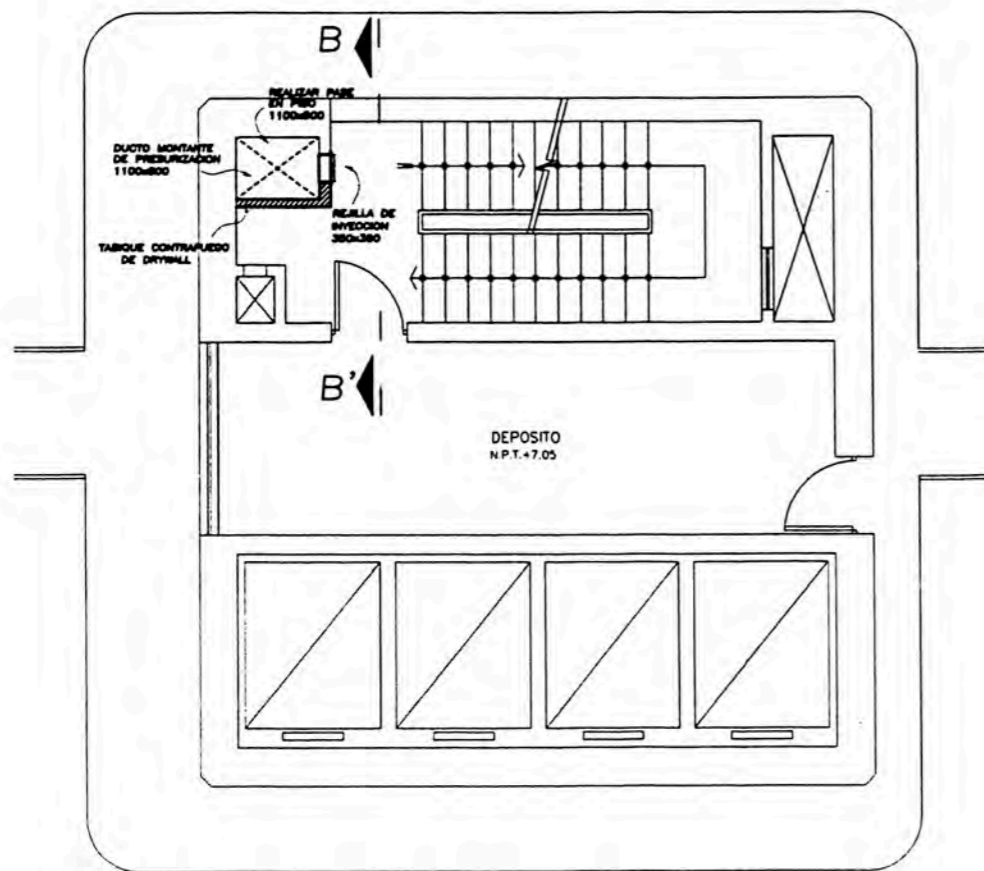
ESC. 1/50

TORRE CENTRAL
 CENTRO COMERCIAL CAMINO REAL
 SISTEMA DE PRESURIZACION DE
 ESCALERAS
 PLANTA Y CORTE : PISO 2

ESCALA : 1/100 FECHA : 05 DE OCTUBRE DEL 2006.

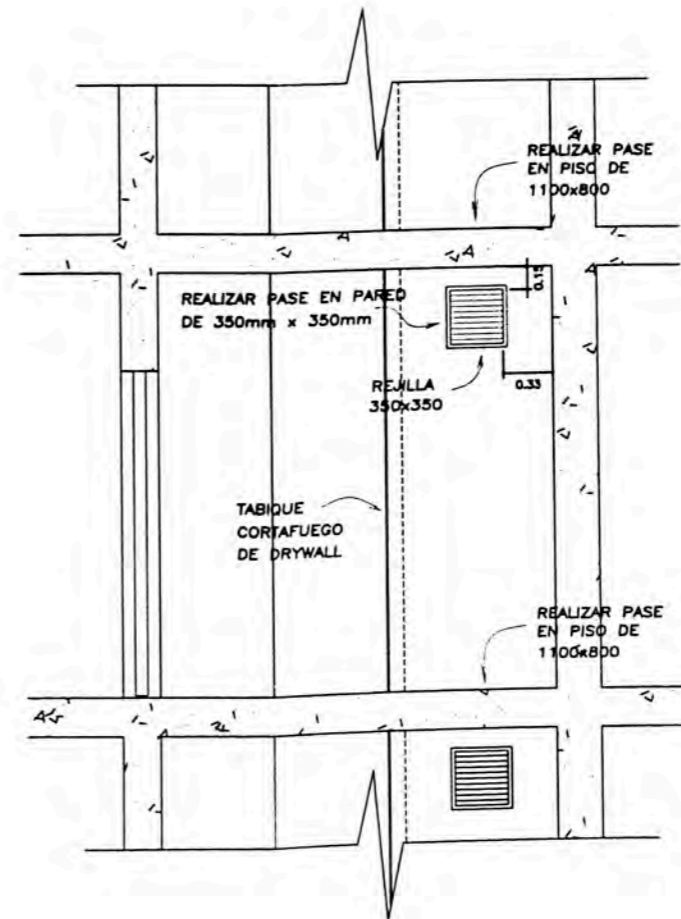
SP-02
 DE : 09

Nº :
 Nº :
 Nº :



PLANTA PISO 3

ESC. 1/100



CORTE B-B' DETALLE DE LA REJILLA DE SUMINISTRO DE AIRE

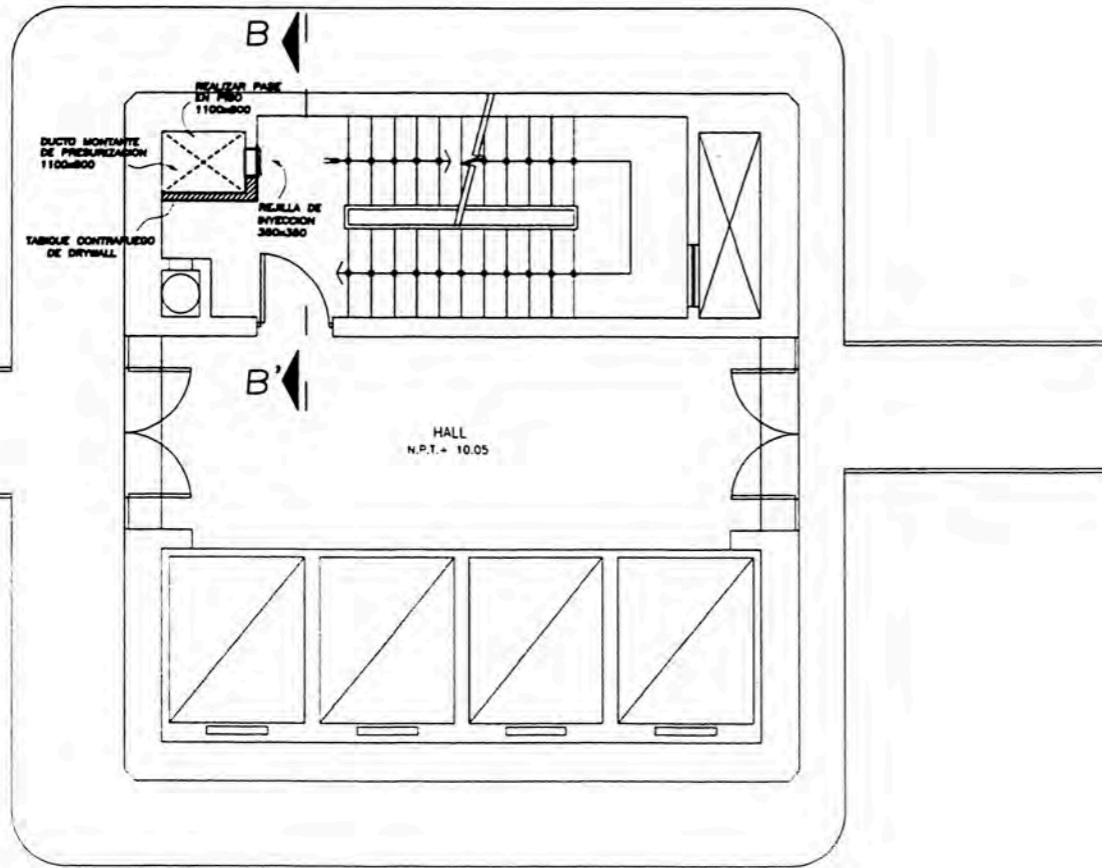
ESC. 1/50

TORRE CENTRAL
 CENTRO COMERCIAL CAMINO REAL
 SISTEMA DE PRESURIZACION DE
 ESCALERAS
 PLANTA Y CORTE : PISO 3

ESCALA : 1/100 FECHA : 05 DE OCTUBRE DEL 2006.

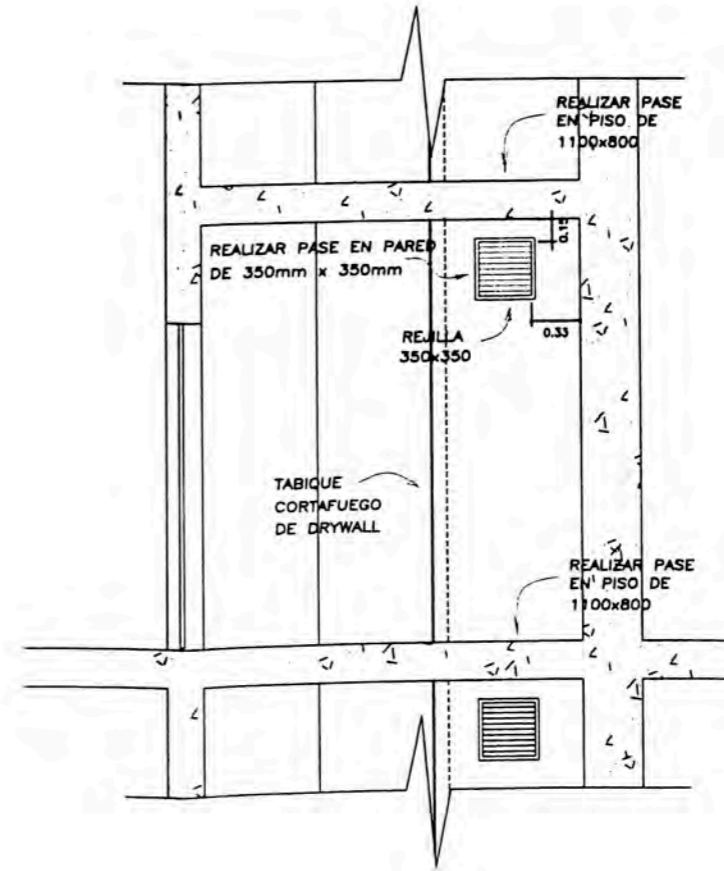
SP-03
 DE : 09

Nº :
 Nº :
 Nº :



PLANTA PISO 4

ESC. 1/100



CORTE B-B' DETALLE DE LA REJILLA DE SUMINISTRO DE AIRE

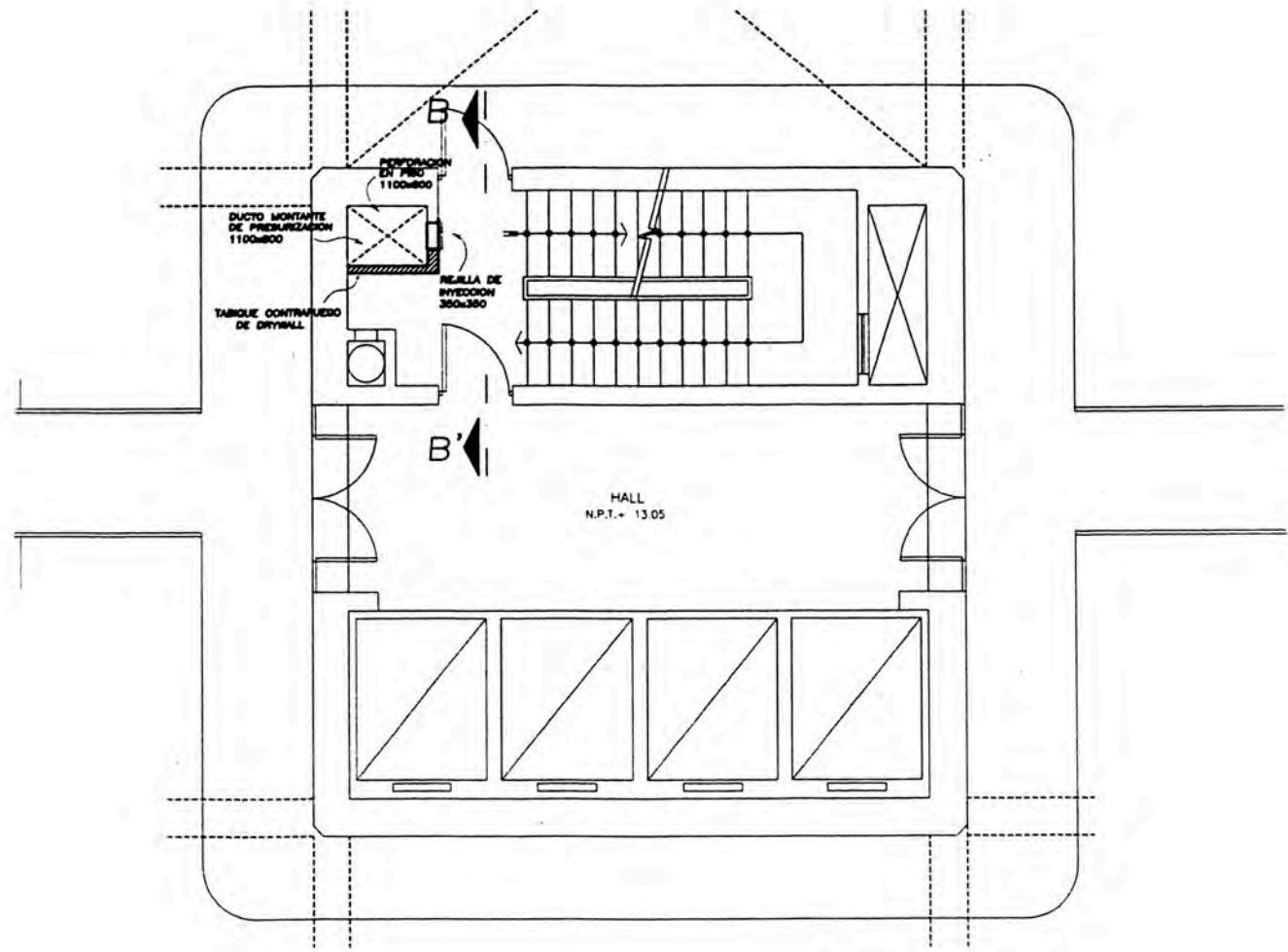
ESC. 1/50

TORRE CENTRAL
 CENTRO COMERCIAL CAMINO REAL
 SISTEMA DE PRESURIZACION DE
 ESCALERAS
 PLANTA Y CORTE : PISO 4

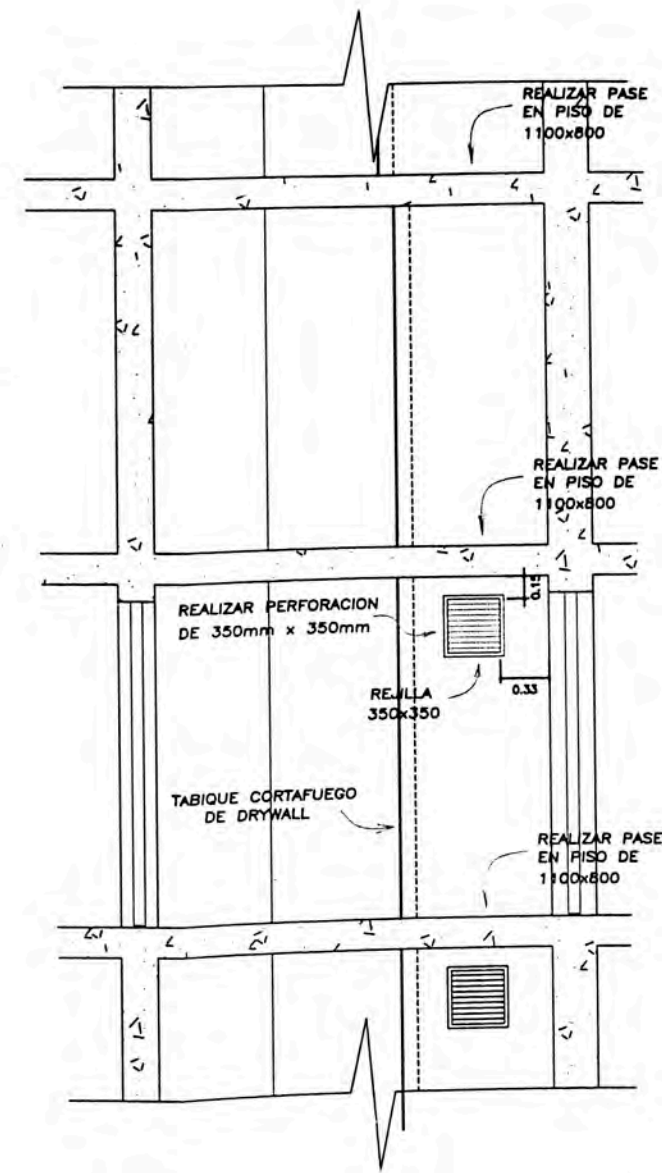
ESCALA : 1/100 FECHA : 05 DE OCTUBRE DEL 2006

SP-04
 DE : 09

Nº :
 Nº :
 Nº :



PLANTA TIPICA PISO 5
 ESC. 1/100

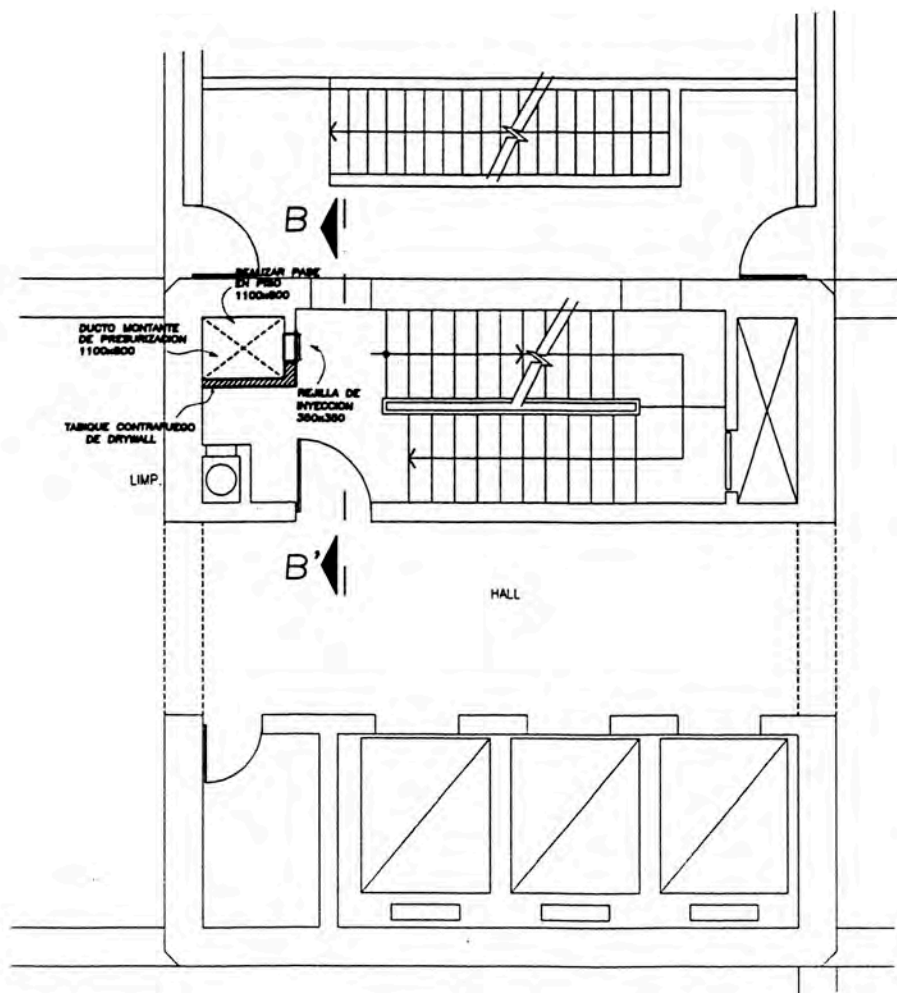


CORTE B-B' DETALLE DE LA REJILLA DE SUMINISTRO DE AIRE
 ESC. 1/50

TORRE CENTRAL
 SISTEMA DE PRESURIZACION DE ESCALERAS
 PLANTA Y CORTE : PISO 5

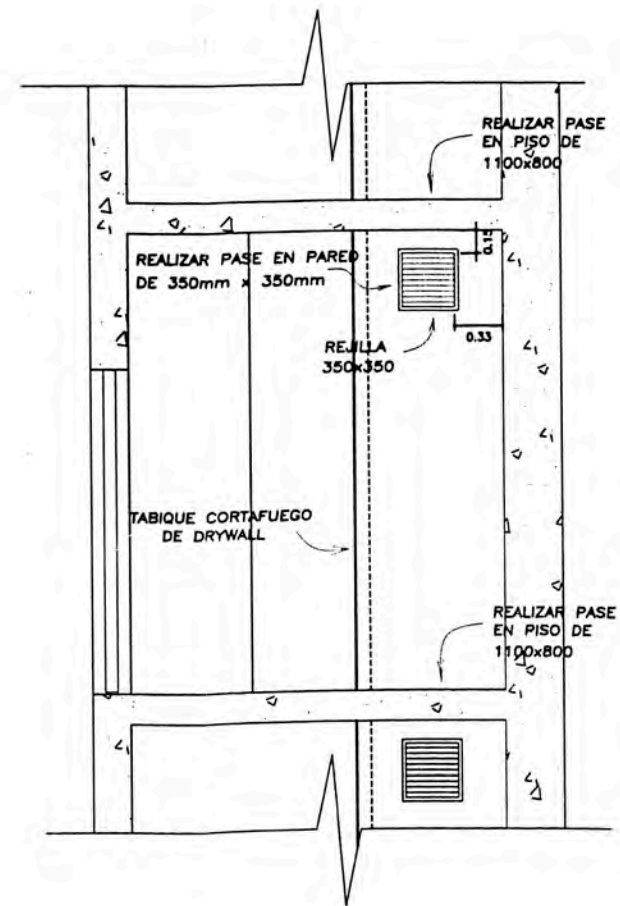
ESCALA : 1/100 FECHA : 05 DE OCTUBRE DEL 2006.

SP-05
DE : 09
Nº :
Nº :
Nº :



PLANTA TIPICA PISO 6 AL 16

ESC. 1/100



CORTE B-B' DETALLE DE LA REJILLA DE SUMINISTRO DE AIRE

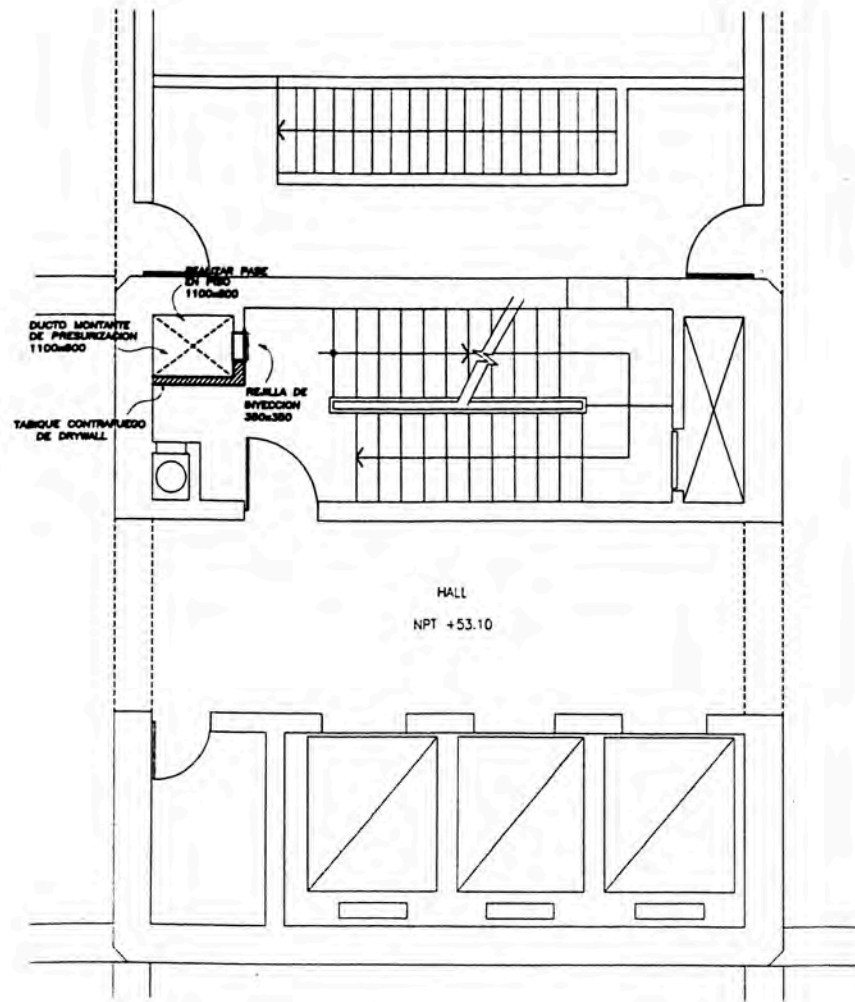
ESC. 1/50

TORRE CENTRAL
CENTRO COMERCIAL CAMINO REAL
SISTEMA DE PRESURIZACION DE
ESCALERAS
PLANTA Y CORTE : PISO 6 AL 16

ESCALA : 1/100 FECHA : 05 DE OCTUBRE DEL 2006

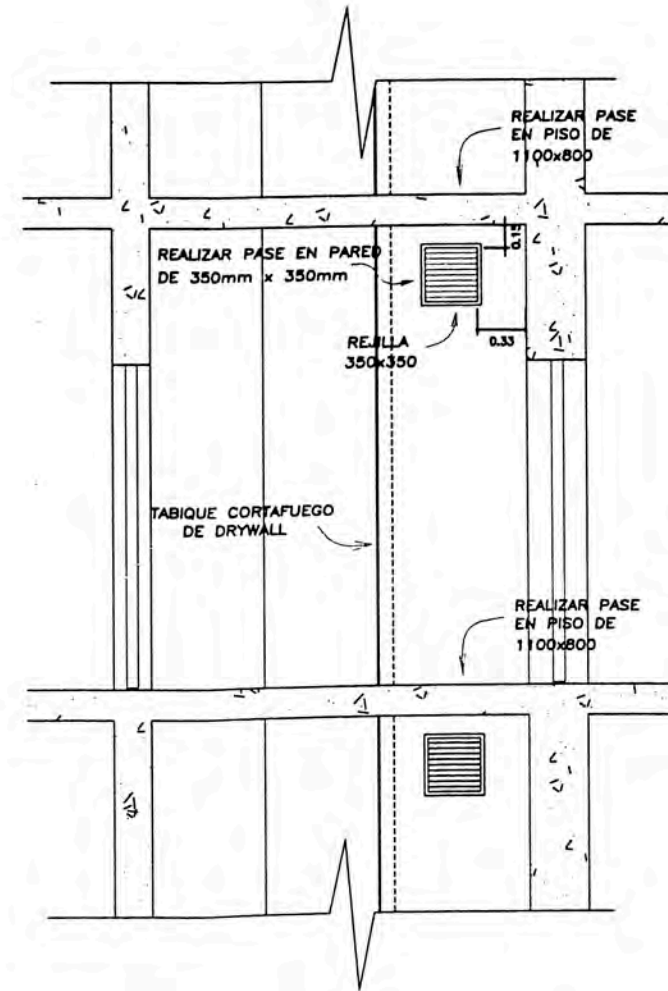
SP-06
 DE : 09

Nº :
 Nº :
 Nº :



PLANTA PISO 17

ESC. 1/100



CORTE B-B' DETALLE DE LA REJILLA DE SUMINISTRO DE AIRE

ESC. 1/50

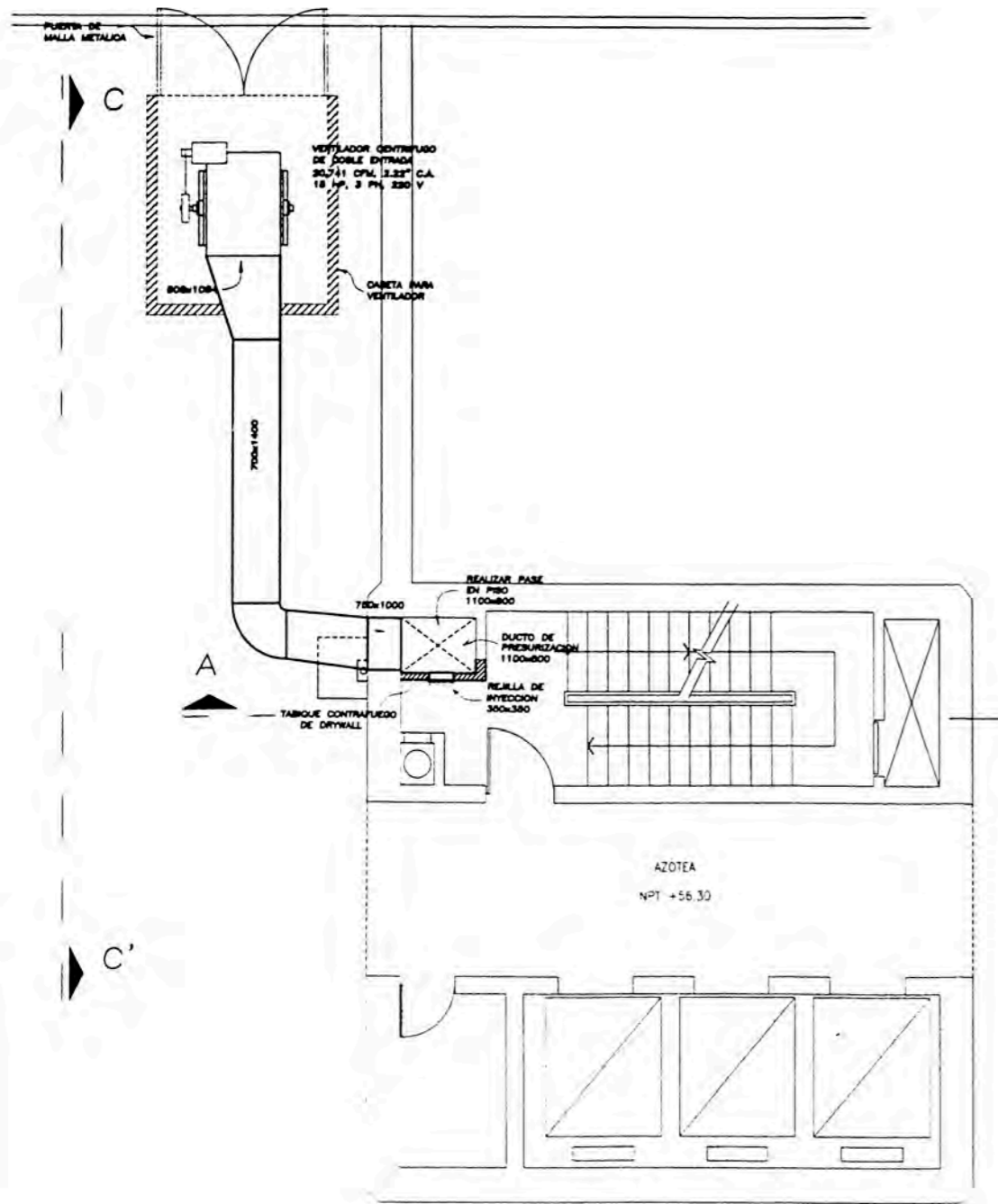
**TORRE CENTRAL
CENTRO COMERCIAL CAMINO REAL
SISTEMA DE PRESURIZACION DE
ESCALERAS
PLANTA Y CORTE : PISO 17**

ESCALA : 1/100

FECHA : 05 DE OCTUBRE DEL 2006

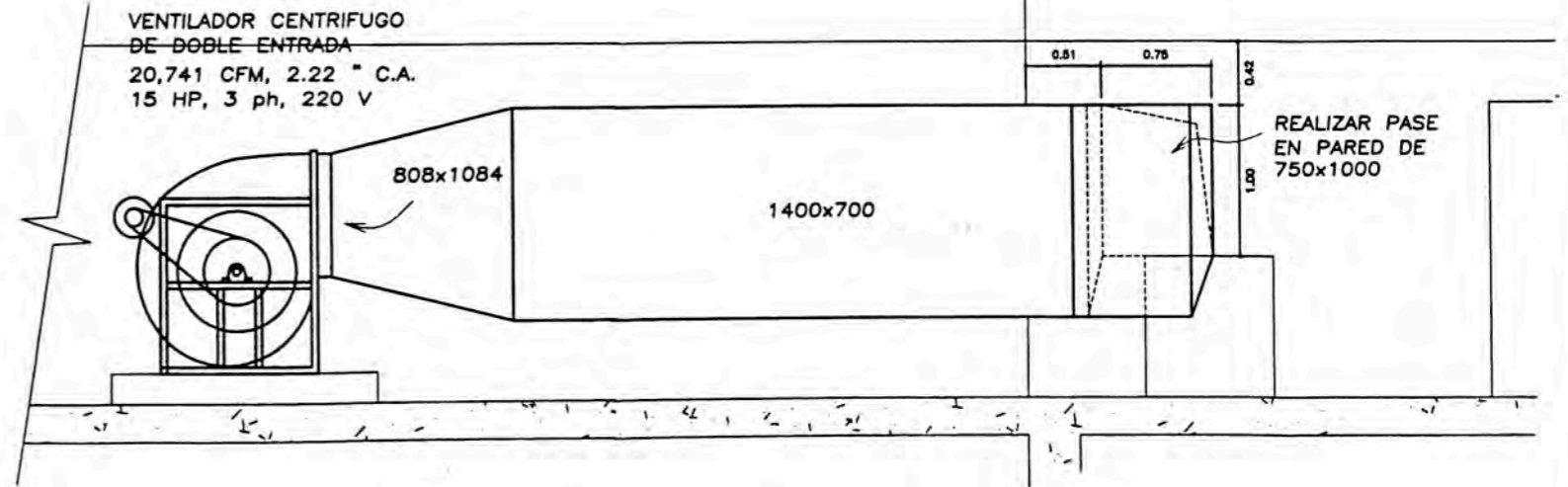
SP-07
DE : 09

Nº :
Nº :
Nº :



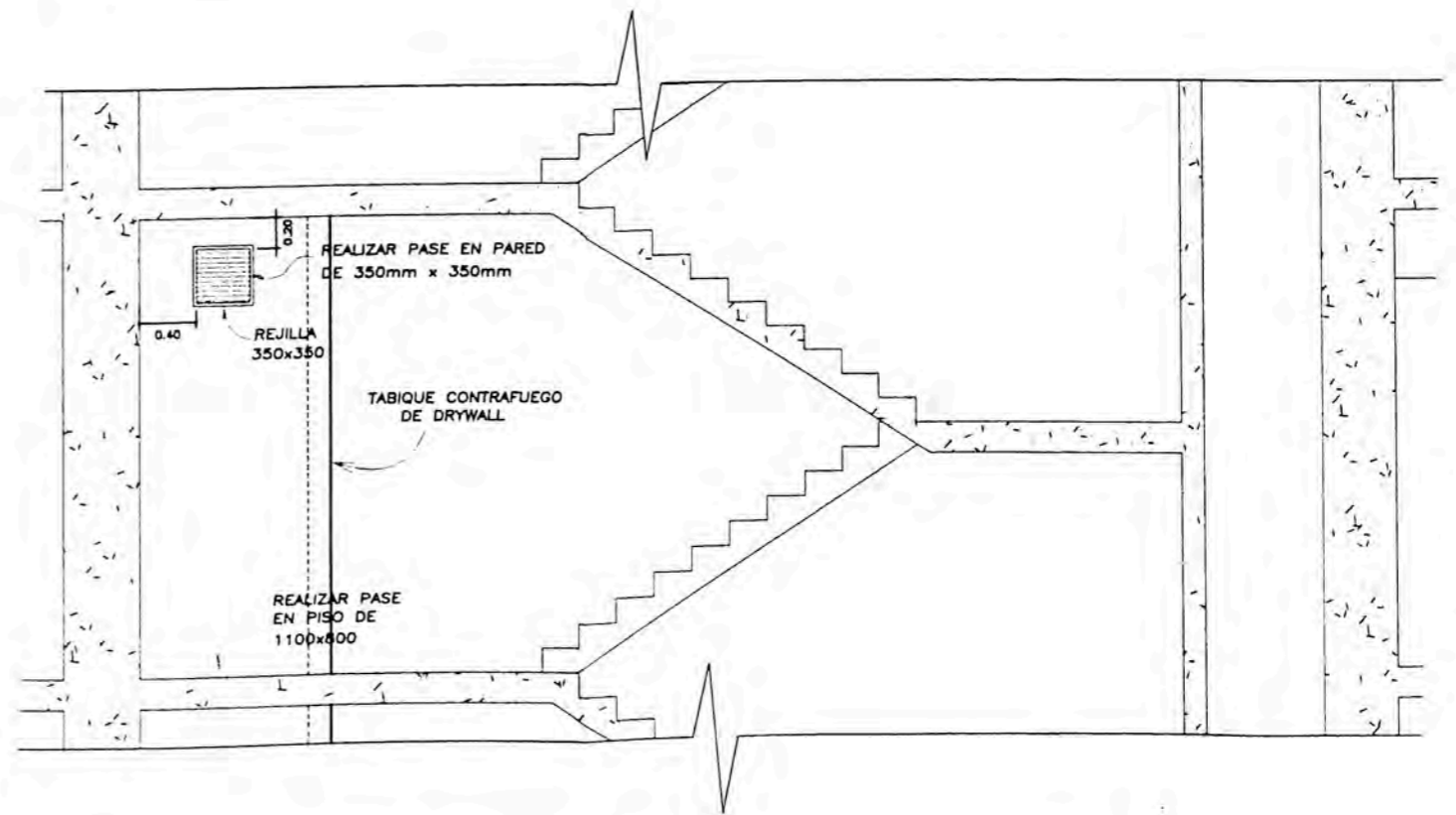
PLANTA AZOTEA

ESC. 1/100



CORTE C-C' DETALLE DEL VENTILADOR

ESC. 1/50



CORTE A-A' DETALLE DE LA REJILLA DE SUMINISTRO DE AIRE

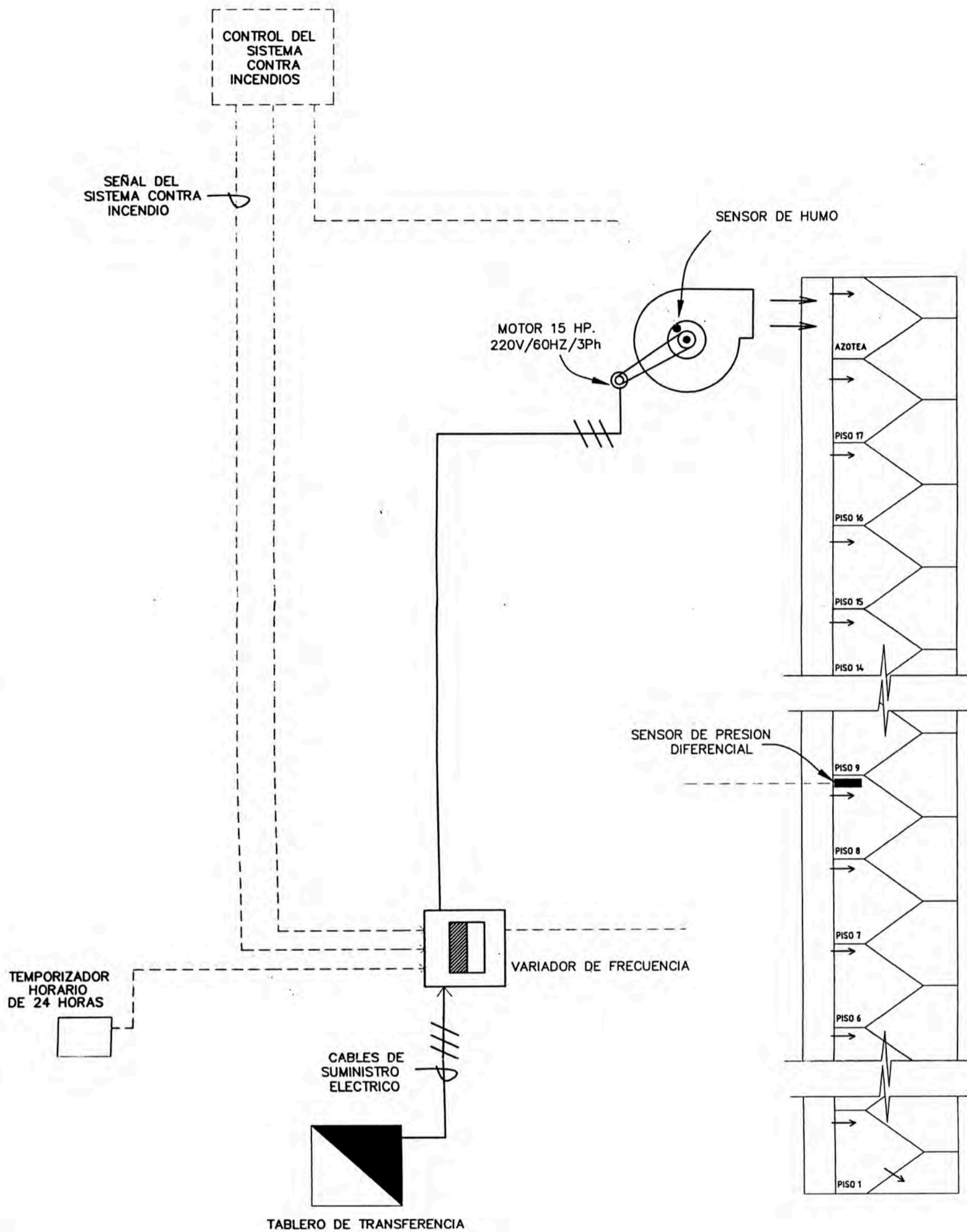
ESC. 1/50

TORRE CENTRAL
CENTRO COMERCIAL CAMINO REAL
SISTEMA DE PRESURIZACION DE
ESCALERAS
PLANTA Y CORTE : AZOTEA

ESCALA : 1/100 FECHA : 04 DE OCTUBRE DEL 2006.

SP-08
DE : 09

Nº :
Nº :
Nº :



LEYENDA

-----	LINEA DE SEÑAL
—————	LINEA DE FUERZA

TORRE CENTRAL
CENTRO COMERCIAL CAMINO REAL
SISTEMA DE PRESURIZACION DE
ESCALERAS
DIAGRAMA DE PRINCIPIO

ESCALA : S/E FECHA : 04 DE OCTUBRE DEL 2004

SP-09
 DE : 09
 Nº :
 Nº :
 Nº :

ANEXOS

ANEXO A
NORMAS Y REGLAMENTOS

NORMA NFPA 92A

(NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION)

NFPA 92A

1996 Edition

Recommended Practice for Smoke-Control Systems

Copyright © 1996 NFPA, All Rights Reserved

1996 Edition

This edition of NFPA 92A, *Recommended Practice for Smoke-Control Systems*, was prepared by the Technical Committee on Smoke Management Systems and acted on by the National Fire Protection Association, Inc., at its Annual Meeting held May 20-23, 1996, in Boston, MA. It was issued by the Standards Council on July 18, 1996, with an effective date of August 9, 1996, and supersedes all previous editions.

Changes other than editorial are indicated by a vertical rule in the margin of the pages on which they appear. These lines are included as an aid to the user in identifying changes from the previous edition.

This edition of NFPA 92A was approved as an American National Standard on July 26, 1996.

Origin and Development of NFPA 92A

The NFPA Standards Council established the Technical Committee on Smoke Management Systems in October of 1985 and charged it with addressing the need for guidelines and materials on building fire smoke management. With help from a former subcommittee on smoke control of the Technical Committee on Air Conditioning, members were appointed to the Smoke Management Systems Committee in 1986. As a first attempt at addressing smoke management, a draft was prepared of a new document, NFPA 92A, that addressed smoke-control utilizing barriers, airflows, and pressure differences so as to confine the smoke of a fire to the zone of fire origin and thus maintain a tenable environment in other zones. The 1993 edition helped to refine the science and art of smoke control by incorporating the latest in technology. The 1996 edition adds guidelines on control system supervision and instrumentation; it also provides substantial appendix material on testing for leakage of smoke-control enclosures.

Technical Committee on Smoke Management Systems

Harold E. Nelson, Chair
Hughes Assoc., Inc., MD

Donald W. Belles, Donald W. Belles & Assoc., Inc., TN
Rep. American Architectural Mfrs. Assn.

Jack B. Buckley, Houston, TX

Thomas C. Campbell, Campbell Code Consulting, CA
Rep. North American Insulation Mfrs. Assn.

Elmer F. Chapman, New York City Fire Dept., NY

Michael Earl Dillon, Dillon Consulting Engr, Inc., CA

S. E. Egesdal, Honeywell Inc., IL
Rep. Nat'l Electrical Mfrs. Assn.

Charles J. Green, Colt Int'l Ltd, England

Gunnar Heskestad, Factory Mutual Research Corp., MA

William R. Houser, U.S. Army Environmental Hygiene Agency, MD

Daniel J. Kaiser, Underwriters Laboratories Inc., IL

John E. Kampmeyer, Maida Engr, Inc., PA

John H. Klote, U.S. Nat'l Inst. of Standards and Technology, MD

Gary D. Lougheed, Nat'l Research Council, Canada

Francis J. McCabe, Prefco Products, PA

James A. Milke, University of Maryland, MD

Gregory R. Miller, Code Consultants Inc., MO

Erin A. M. Oneism, U.S. Air Force, Civil Engr Support Agency, FL

Lyman L. Parks, Bellcore, NJ

Zenon A. Pihut, Texas Dept. of Health, TX

Dale Rammien, Air Movement & Control Assn., Inc., IL

John (Sonny) Scarff, Marriott Corp., DC

William A. Schmidt, Bowie, MD

Todd E. Schumann, Industrial Risk Insurers, IL

J. Brooks Semple, Smoke/Fire Risk Mgmt. Inc., VA

William A. Webb, Rolf Jensen & Assoc., Inc., IL

Alternates

Eric Anderson, System Sensor - Attway, IL
(Alt. to S. E. Egesdal)

Daniel L. Arnold, Rolf Jensen & Assoc., Inc., GA
(Alt. to W. A. Webb)

Craig Beyler, Hughes Assoc., Inc., MD
(Alt. to H. E. Nelson)

Richard J. Davis, Factory Mutual Research Corp., MA
(Alt. to G. Heskestad)

Victor L. Dubrowski, Code Consultants Inc., MO
(Alt. to G. R. Miller)

Geraldine Massey, Dillon Consulting Engr, Inc., CA
(Alt. to M. E. Dillon)

Jayendra S. Parikh, Underwriters Laboratories Inc., IL
(Alt. to D. J. Kaiser)

Paul G. Turnbull, Landis & Gyr Powers, Inc., IL
(Vot. Alt. to L&G P Rep.)

Peter J. Gore Willse, Industrial Risk Insurers, CT
(Alt. to T. E. Schumann)

Michael L. Wolf, Greenheck, WI
(Alt. to D. Rammien)

Nonvoting

Bent A. Borresen, Techno Consultant, Norway
(Alt. to C. N. Madsen)

E. G. Butcher, Fire Check Consultants, England
(Alt to A. G. Parnell)

Christian Norgaard Madsen, Techno Consultant, Norway

Alan G. Parnell, Fire Check Consultants, England

Ron Coté, NFPA Staff Liaison

This list represents the membership at the time the Committee was balloted on the text of this edition. Since that time, changes in the membership may have occurred.

NOTE: Membership on a Committee shall not in and of itself constitute an endorsement of the Association or any document developed by the Committee on which the member serves.

Committee Scope: This Committee shall have primary responsibility for documents on the design, installation, testing, operation, and maintenance of systems for the control, removal, or venting of heat or smoke from fires in buildings.

NFPA 92A
Recommended Practice for
Smoke-Control Systems
1996 Edition

NOTICE: An asterisk (*) following the number or letter designating a paragraph indicates explanatory material on that paragraph in Appendix A.

Information on referenced publications can be found in Chapter 5 and Appendix B.

Chapter 1 General Information

1-1 Introduction.

All fires produce smoke which, if not controlled, will spread throughout the building or portions of the building, thereby endangering life and damaging property.

A smoke-control system should be designed to inhibit the flow of smoke into means of egress, exit passageways, or other similar areas of a building. Limiting fire size by providing automatic sprinklers or other means of automatic suppression will generally be necessary for effective and economical control of smoke in most occupancies. Other techniques may be appropriate for specialized occupancies or existing facilities. Where smoke-control systems are provided, they should be activated during the early stages of a fire emergency to maintain a tenable environment in the areas to be protected. The smoke-control system should be functional during the period of evacuation of the areas protected by the system. Such systems are intended to control the migration of smoke to maintain tenable conditions in protected areas, but it should not be expected that such areas would be completely free of smoke. Smoke-control systems should be engineered for the specific occupancy and building design. Additionally, the smoke-control system design should be coordinated with other life safety systems so that they complement, rather than counteract, each other.

1-2 Scope.

This recommended practice applies to the design, installation, testing, operation, and maintenance of new and retrofitted mechanical air conditioning and ventilation systems for the control of smoke. This practice also applies to systems dedicated solely to the control of smoke. The problem of maintaining tenable conditions within large zones of fire origin, such as atria and shopping malls, is not addressed by this document. (*See NFPA 204M, Guide for Smoke and Heat Venting, for smoke and heat venting.*)

1-3 Purpose.

The purpose of this recommended practice is to provide guidance in implementing systems using pressure differentials to accomplish one or more of the following:

- (a) Maintain a tenable environment in the means of egress during the time required for evacuation.
- (b) Control and reduce the migration of smoke from the fire area.
- (c) Provide conditions outside the fire zone that will assist emergency response personnel to conduct search and rescue operations and to locate and control the fire.
- (d) Contribute to the protection of life and reduction of property loss.

1-4 Definitions.

Frequently smoke flow follows the overall air movement within a building. Although a fire may be confined within a fire-resistive compartment, smoke can readily spread to adjacent areas through openings, such as construction cracks, pipe penetrations, ducts, and open doors. The principal factors that cause smoke to spread to areas outside a compartment are:

- (a) Stack effect,
- (b) Temperature effect of fire,
- (c) Weather conditions, particularly wind and temperature, and
- (d) Mechanical air-handling systems.

The factors above cause pressure differences across partitions, walls, and floors that can result in the spread of smoke. The movement of smoke can be controlled by altering these pressure differences. Building components and equipment such as walls, floors, doors, dampers, and smokeproof stairtowers can all be utilized along with the heating, ventilating, and air conditioning (HVAC) systems to aid in the control of the movement of smoke. Proper overall building design and tight construction are essential to smoke control.

The dilution of smoke in the fire area of a compartmented building is not a means of achieving smoke control. Smoke control cannot be achieved simply by supplying air to and exhausting air from the compartment.

Smoke control can be stated in two basic principles as follows:

- (a) Air pressure differences of sufficient magnitude acting across barriers will control smoke movement.
- (b) Airflow by itself will control smoke movement if the average air velocity is of sufficient magnitude.

1-5.2 Pressurization.

The primary means of controlling smoke movement is by creating air pressure differences across partitions, floors, and other building components. The basic concept of building pressurization is to establish a higher pressure in adjacent spaces than in the smoke zone. In this way, air moves into the smoke zone from adjacent areas and smoke is inhibited from dispersing throughout the building.

1-5.3 Airflow.

Airflow can be used to stop movement through a space. This principle is most commonly used to control smoke movement through open doorways. The flow of air through the opening into the smoke zone must be of sufficient velocity to prevent smoke from leaving that zone through such openings. Since the quantities of air required are large, airflow is not the most practical method of controlling smoke movement.

1-6 Design Parameters.

1-6.1 General.

Design criteria contained in the governing codes or the standards referenced by them should be used. However, they should be scrutinized to determine whether or not they will result in an effective system. If necessary, the designer should seek equivalencies or modifications to the local codes. This would include an understanding with the authority having jurisdiction of the expected performance of the system and the acceptance test procedures. Detailed engineering design information is contained in the ASHRAE publication, *Design of Smoke Management Systems*.

The following terms for the purposes of this recommended practice shall have the meanings given in this chapter.

Fire Fighters' Smoke-Control Station. Fire fighters' smoke-control station (FSCS) includes monitoring and overriding capability over smoke-control systems and equipment provided at designated location(s) within the building for the use of the fire department. Other fire fighters' systems (such as voice alarm, public address, fire department communication, and elevator status and controls) are not covered in this document.

Pressurized Stairtowers A type of smoke-control system in which stair shafts are mechanically pressurized with outdoor air to keep smoke from contaminating them during a fire incident.

Smoke. The airborne solid and liquid particulates and gases evolved when a material undergoes pyrolysis or combustion, together with the quantity of air that is entrained or otherwise mixed into the mass.

Smoke Barrier. A membrane, either vertical or horizontal, such as a wall, floor, or ceiling assembly, that is designed and constructed to restrict the movement of smoke. A smoke barrier may or may not have a fire resistance rating. Smoke barriers may have openings protected by closing devices or adequate airflows.

Smoke-Control Mode. A predefined operational configuration of a system or device for the purpose of smoke control.

Smoke-Control System. An engineered system that uses mechanical fans to produce airflows and pressure differences across smoke barriers to limit and direct smoke movement.

Smoke-Control Zone. A space within a building enclosed by smoke barriers, including the top and bottom, that is part of a zoned smoke-control system.

Smoke Damper. A device that meets the requirements of UL 555S, *Standard for Safety Leakage Rated Dampers for Use in Smoke Control Systems*, designed to resist the passage of air or smoke. A combination fire and smoke damper should meet the requirements of UL 555, *Standard for Safety Fire Dampers*, and UL 555S.

Smoke Exhaust System. A mechanical or gravity system intended to move smoke from the smoke zone to the exterior of the building, including smoke removal, purging, and venting systems, as well as the function of exhaust fans utilized to reduce the pressure in a smoke zone. Maintenance of a tenable environment in the smoke zone is not within the capability of these systems.

Smoke Zone. The smoke-control zone in which the fire is located.

Stack Effect. The vertical airflow within buildings caused by temperature differences between the building interior and exterior.

Tenable Environment. An environment in which the quantity and location of smoke is limited or otherwise restricted to allow for ready evacuation through the space.

Zoned Smoke Control. A smoke-control system that includes smoke exhaust for the smoke zone and pressurization for all contiguous smoke-control zones. The remaining smoke-control zones in the building also may be pressurized.

1-5 Principles of Smoke Control.

1-5.1 Basic Principles.

Design criteria and acceptance testing of smoke-control systems should be based upon the following parameters with reference to the smoke zone and adjacent zones:

(a) Small openings in smoke barriers, such as construction joints, cracks, closed door gaps, and similar clearances, should be addressed in terms of maintaining an adequate pressure difference across the smoke barrier, with the positive pressure outside of the smoke zone.

(b) Large openings in smoke barriers, such as doors intended to be open and other sizable openings, should be addressed in terms of maintaining an adequate air velocity across the smoke barrier, with the airflow direction into the smoke zone.

The temperature differences between the exterior and interior of the building cause stack effect and determine its direction and magnitude. The effect of temperature and wind velocity will vary with building height, configuration, leakage, and openings in wall and floor construction.

The maximum and minimum allowable pressure differences across the boundaries of smoke-control zones should be considered. The maximum should not result in door-opening forces that exceed the requirements of NFPA 101, *Life Safety Code*, or local codes and regulations. The minimum should be such that there will be no significant smoke leakage during building evacuation. For the system to be effective, the pressure needs to be enough that it is not overcome by the forces of wind, stack effect, or buoyancy of hot smoke.

Airflow can be used to limit smoke migration when doors in smoke-control barriers are open. The design velocity through an open door should be sufficient to prevent smoke backflow during building evacuation. It should take into consideration the same variables as used in the selection of design pressure differences

The number of doors that may be open simultaneously should be considered. This number will depend largely on the building occupancy and the type of smoke-control system. In some systems, doors will most likely be open for only short periods of time and the smoke leakage will be negligible.

Automatic sprinkler and other suppression systems are an integral part of many fire protection designs and the reliability and efficiency of such systems in controlling building fires is well documented. It is important to recognize that the functions of both suppression and smoke-control systems are important. Automatic suppression systems can extinguish a fire early in its growth, thereby eliminating additional smoke generation. On the other hand, well-designed smoke-control systems can maintain a tenable environment along critical egress routes during the time it takes the fire suppression system or fire service personnel to achieve final extinguishment

In addition to the fact that the systems perform different functions, it is important to consider the interaction between the smoke-control and fire suppression systems. For example, in the case of a fully sprinklered building, pressure differences and airflows needed to control smoke movement may be less than in an unsprinklered building due to the likelihood that the

2-2 Pressure Differences.

2-2.1*

The following table of suggested minimum design pressure differences was developed for gas temperature of 1700°F (925°C) next to the smoke barrier.

If it is desired to calculate pressure differences for gas temperatures other than 1700°F (925°C), the method described in Appendix A may be used. Pressure differences produced by smoke-control systems tend to fluctuate due to the wind, fan pulsations, doors opening, doors closing, and other factors. Short-term deviations from the suggested minimum design pressure difference may not have a serious effect on the protection provided by a smoke-control system. There is no clear-cut allowable value of this deviation. It depends on tightness of doors, tightness of construction, toxicity of smoke, airflow rates, and on the volumes of spaces. Intermittent deviations up to 50 percent of the suggested minimum design pressure difference are considered tolerable in most cases.

**Table 2-2.1 Suggested Minimum Design
Pressure Difference
Across Smoke Barriers¹ (Inches Water Gauge)**

Building Type ²	Ceiling Height	Design Pressure Difference ³
AS	Any	0.05
NS	9 ft	0.10
NS	15 ft	0.14
NS	21 ft	0.18

NOTES:

1. For design purposes, a smoke-control system should maintain these minimum pressure differences under likely conditions of stack effect or wind.
2. AS — Sprinklered. NS — Nonsprinklered.
3. The pressure difference measured between the smoke zone and adjacent spaces, while the affected areas are in the smoke-control mode.

2-2.2

Similarly, the pressure difference across doors should not exceed the values given in Table 2-2.2, so that the doors can be operated while the pressurization system is operating. These values are based on the 30-lbf (133-N) maximum force to begin opening the door stipulated in NFPA 101, *Life Safety Code*.

**Table 2-2.2 Maximum Pressure Differences across
Doors^{1, 2, 3, 4}**

(Inches Water Gauge)

Door Closer Force ⁵ (lbf)	Door Width (Inches) ⁶				
	32	36	40	44	48
6	0.45	0.40	0.37	0.34	0.31
8	0.41	0.37	0.34	0.31	0.28
10	0.37	0.34	0.30	0.28	0.26
12	0.34	0.30	0.27	0.25	0.23
14	0.30	0.27	0.24	0.22	0.21

For SI Units: 1 lbf = 4.4 N; 1 in. = 25.4 mm; 0.1 in. w.g. = 25 Pa.

NOTES:

1. Total door opening force is 30 lbf.
2. Door height is 7 ft.
3. The distance from the doorknob to the knob side of the door is 3 in.
4. For other door-opening forces, other door sizes, or hardware other than a knob, e.g., panic hardware, use the calculation procedure provided in the ASHRAE publication, *Design of Smoke Management Systems*.
5. Many door closers require less force in the initial portions of the opening cycle than that required to bring the door to the full open position. The combined impact of the door closer and the imposed pressure combine only until the door is opened enough to allow air to pass freely through the opening. The force imposed by a closing device to close the door is often different from that imposed upon opening.
6. Door widths apply only if door is hinged at one end; otherwise, use the calculation procedure provided in the ASHRAE publication, *Design of Smoke Management Systems*.

2-3 Stairtower Pressurization Systems.

2-3.1 General.

The goal of pressurized stairtowers is to provide a tenable environment within the stairtower in the event of a building fire. A secondary objective is to provide a staging area for fire fighters. On the fire floor, a pressurized stairtower needs to maintain a pressure difference across a closed stairtower door so that smoke infiltration is limited.

2-3.2 Noncompensated and Compensated Systems.

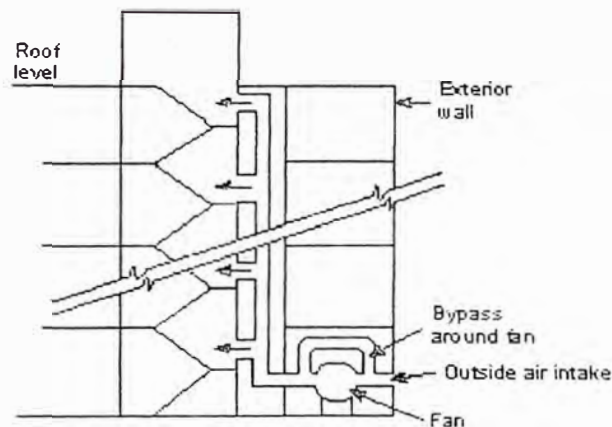
(a) *Noncompensated*. Supply air is injected into the stairtower by actuating a single-speed fan, thus providing one pressure difference with all doors closed, another difference with one door open, and so on.

(b) *Compensated*. Compensated systems adjust to various combinations of doors open and closed, while maintaining positive pressure differences across such openings. Systems compensate for changing conditions by either modulating supply airflows or by relieving excess pressure from the stairtower.

The response time of the control system should be closely evaluated to ensure that pressures do not fall below the short-term values given in Table 2-2.1. The location of the exhaust inlet(s) from the stairtower relative to the supply outlet(s) into the stairtower should be such that short-circuiting will not occur.

(1) **Modulating Supply Airflow**. In this system, the capacity of the supply fan is sized to provide at least the minimum air velocity when the design number of doors are open. Figure 2-3.2(b)(1) illustrates such a system. The flow rate of air into the stairtower is varied by modulating bypass dampers, which are controlled by one or more static pressure sensors that

sense the pressure difference between the stairtower and the building. When all the stairtower doors are closed, the pressure difference increases and the bypass damper opens to increase the bypass air and decrease the flow of supply air to the stairtower. In this manner, excessive pressure differences between the stairtower and the building are prevented. The same effect can be achieved by the use of relief dampers on the supply duct when the fan is located outside the building. Supply airflow modulation may also be accomplished by varying fan speed, inlet vanes, variable pitch fan blades, or number of fans operating. Response times of the controls with any system should be considered.



Notes:

1. Fan bypass controlled by one or more static pressure sensors located between the stairtower and the building interior.
2. A ground-level supply fan is shown; however, fan(s) could be located at any level.

(2) Compensated system operation can also be accomplished by overpressure relief. In this instance, pressure buildup in the stairtower as doors close is relieved directly from the stairtower to the outside. The amount of air relieved varies with the number of doors open, thus attempting to achieve an essentially constant pressure in the stairtower. Exterior relief openings can be subject to adverse effects from the wind so windbreaks or windshields are recommended.

In existing buildings, overpressure relief may be discharged into the building. The effects of this on the integrity of the stairtowers and the interaction with other building HVAC systems should be closely studied before proposing this method. Systems using this principle should have combination fire/smoke dampers in the stairtower wall penetrations.

Overpressure relief may be accomplished by one of four methods:

(i) Barometric dampers with adjustable counterweights can be used to allow the damper to open when the maximum interior pressure is reached. This represents the simplest, least expensive method of overpressure relief since there is no physical interconnection between the dampers and the fan. The location of the dampers needs to be carefully chosen since dampers located too close to the supply openings can operate too quickly and not allow the system to meet the pressure requirements throughout the stairtower. The dampers can be subject to chattering during operation. Figure 2-3.2(b)(2) illustrates overpressure relief using barometric dampers.

(ii) Motor-operated dampers with pneumatic or electric motor operators are another option. These dampers are to be controlled by differential pressure controls located in the stairtower. This method provides more positive control over the stairtower pressures than barometric dampers. It requires more control than the barometric dampers and hence is more

complicated and costly.

(iii) An alternate method of venting a stairtower is through an automatically opening stairtower door to the outside at ground level. Under normal conditions this door would be closed and, in most cases, locked for security reasons. Provisions need to be made so that this lock does not conflict with the automatic operation of the system.

Possible adverse wind effects are also a concern with a system that uses an open outside door as a vent. Occasionally, high local wind velocities develop near the exterior stairtower door. Such local winds are difficult to estimate in the vicinity of new buildings without expensive modeling. Adjacent objects can act as windbreaks (or windshields)

(iv) An exhaust fan can be used to prevent excessive pressure when all stairtower doors are closed. The fan should be controlled by a differential pressure sensor so that it will not operate when the pressure difference between the stairtower and the building falls below a specified level. This should prevent the fan from pulling smoke into the stairtower when a number of open doors have reduced stairtower pressurization. Such an exhaust fan should be specifically sized so that the pressurization system will perform within design limits. To achieve the desired performance, it is believed that the exhaust fan control should be modulating as opposed to on-off. Because an exhaust fan will be adversely affected by the wind, a windshield is recommended.

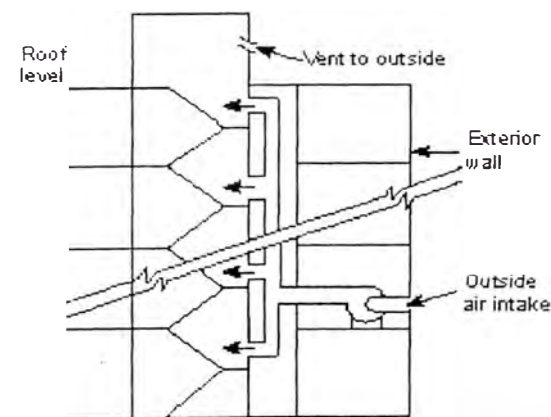


Figure 2-3.2(b)(2) Stairtower pressurization with vent to the outside.

2-3.3 Air Supply Source Location.

2-3.3.1 The supply air intake should be separated from all building exhausts, outlets from smoke shafts and roof smoke and heat vents, open vents from elevator shafts, and other building openings that might expel smoke from the building in a fire. This separation should be as great as is practically possible. Because hot smoke rises, consideration should be given to locating supply air intakes below such critical openings. However, outdoor smoke movement that might result in smoke feedback depends on location of the fire, location of points of smoke leakage from the building, wind speed and direction, and the temperature difference between the smoke and the outside air. At present, too little information is available about such outdoor smoke movement to warrant general recommendations favoring ground-level intakes rather than roof-level intakes.

2-3.3.2 With any stairtower pressurization system, there is a potential for smoke feedback into the pressurized stairtower from smoke entering the stairtower through the pressurization fan intake. Therefore, the capability of automatic shutdown in such an event should be considered.

NORMA NFPA 101
(CODIGO DE SEGURIDAD HUMANA)

7.2.1.4.2 Las puertas que deben ser de tipo de bisagra lateral a vaivén deberán balancearse en el sentido del recorrido de egreso cuando sirvan a una habitación o área con una carga de ocupantes de 50 o más personas.

Excepción No. 1: No se deberá requerir que las puertas en las salidas se balanceen en el sentido del camino del egreso cuando estén exceptuadas en 7.2.4.3.6.

Excepción No. 2: Las puertas de las barreras contra el humo, según lo establecido en el Capítulo 19.

7.2.1.4.3 Las puertas deberán balancearse en el sentido del recorrido de egreso cuando se usen en el cerramiento de una salida o cuando sirvan un área con contenido de alto riesgo, a menos que sea la puerta de una unidad de vivienda individual que abre directamente hacia un cerramiento de salida.

7.2.1.4.4* Durante su balanceo, una puerta en un medio de egreso deberá dejar despejada por lo menos la mitad del ancho requerido de un pasillo, corredor, pasaje o rellano y no deberá proyectarse más de 7 pulg. (17.8 cm) en el ancho requerido del pasillo, corredor, pasaje o rellano cuando esté totalmente abierta. Las puertas no deberán abrir directamente sobre una escalera sin rellano. El rellano deberá tener un ancho por lo menos igual al ancho de la puerta. (Ver 7.2.1.3.)

Excepción: En edificios ya existentes, se deberá permitir que una puerta que proporcione acceso a una escalera no deba mantener ningún ancho despejado mínimo cuando se encuentre abierta, siempre que alcance el requisito que limita la proyección a no más de 7 pulg. (17.8 cm) dentro del ancho requerido de una escalera o rellano cuando la puerta está totalmente abierta.

7.2.1.4.5 La fuerza requerida para abrir manualmente una puerta en su totalidad en un medio de egreso no deberá ser mayor de 15 lbf (67 N) para liberar el pestillo, 30 lbf (133 N) para poner la puerta en movimiento y 15 lbf (67 N) para abrir la puerta al ancho mínimo requerido. Las fuerzas para abrir puertas interiores de bisagra lateral o de vaivén sin cerraduras no deberán ser menores que 5 lbf (22 N). Estas fuerzas se deberán aplicar al montante del pestillo.

Excepción No. 1: La fuerza de apertura para las puertas en edificios ya existentes no deberá ser mayor que 50 lbf, aplicada al montante del pestillo.

Excepción No. 2: Las puertas de deslizamiento horizontal, según lo establecido en los Capítulos 22 y 23.

Excepción No. 3: Las puertas mecánicas, según lo establecido en 7.2.1.2.

7.2.1.4.6 Las puertas de pantalla y las contrapuestas utilizadas en un medio de egreso no deberán abrirse contra el sentido del recorrido de egreso, cuando se requiera que abran en la dirección del recorrido de egreso.

7.2.1.5 Cerraduras, Pestillos y Dispositivos de Alarma.

7.2.1.5.1 Las puertas deberán estar dispuestas para ser abiertas fácilmente desde el lado de egreso siempre que el edificio esté ocupado. Las cerraduras, si las hubiera, no deberán requerir el uso de llaves, herramientas, conocimientos o esfuerzos especiales para su operación desde el interior del edificio.

Excepción No. 1: Este requisito no deberá aplicarse salvo lo establecido en los Capítulos 18 a 23.

Excepción No. 2: Se deberá permitir que las puertas exteriores tengan cerraduras operables con llave desde el lado de egreso, siempre que se cumplan los criterios siguientes:

(a) Esta excepción este permitida en los Capítulos 12 a 42 para la instalación específica.

(b) Sobre la puerta o en un lugar adyacente a la misma, haya un cartel fácilmente visible con letras de por lo menos 1 pulgada (2.5 cm) de altura, y fondo contrastante, con la leyenda:

ESTA PUERTA DEBE PERMANECER ABIERTA CUANDO EL EDIFICIO ESTÁ OCUPADO

(c) El dispositivo de cierre sea de un tipo fácilmente identificable cuando está cerrado; y

(d) Cualquier ocupante pueda disponer inmediatamente de una llave en el interior del edificio cuando este se encuentre cerrado.

La Excepción No. 2 deberá ser revocada por la autoridad competente con causa justificada.

Excepción No. 3: Cuando este permitido en los Capítulos 12 a 42, se deberá permitir la operación de la llave, siempre que la misma no pueda ser retirada cuando la puerta esté cerrada desde el lugar o desde donde tiene lugar el egreso.

7.2.1.5.2* Todas las puertas en áreas de escaleras deberán permitir el regreso desde el área de la escalera al interior del edificio, o deberá existir un sistema de destrabe automático para abrir todas las puertas del área de la escalera, con el fin de permitir el regreso. Dicho sistema de destrabe automático se deberá activar con la puesta en marcha del sistema de alarma de incendio del edificio.

Capítulo 8 ASPECTOS DE LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

SECCIÓN 8.1 GENERALIDADES

8.1.1 Aplicación. Los aspectos de la protección contra incendios expuestos en este capítulo se aplican tanto a las nuevas construcciones como a los edificios ya existentes.

SECCIÓN 8.2 CONSTRUCCIÓN Y COMPARTIMENTACIÓN

8.2.1* Construcción. Los edificios o las estructuras ocupadas o utilizadas de acuerdo con los capítulos de ocupaciones individuales (Capítulos 12 a 42), deberán cumplir con los requisitos mínimos de construcción de dichos capítulos. Se deberá usar la norma NFPA 220, *Standard on Types of Building Construction*, para determinar los requisitos para la clasificación de la construcción. Cuando el edificio o la instalación incluyen adiciones o estructuras conectadas de distintos tipos de construcción, el nivel y la clasificación de las estructuras deberá basarse en alguno de los siguientes:

- (1) Edificios separados si existe entre las partes del edificio una barrera contra el fuego de 2 horas de acuerdo con la norma NFPA 221, *Standard for Fire Walls and Fire Barrier Walls*.

Excepción: Los requisitos de 8.2.1(1) no deberán aplicarse a separaciones ya aprobadas entre edificios.

- (2) Si no se provee dicha separación, la construcción del tipo menos resistente al fuego de las partes conectadas.

8.2.2 Compartimentación.

8.2.2.1 Cuando así lo requieran los Capítulos 12 a 42, todos los edificios deberán estar divididos en compartimentos para limitar la propagación del fuego y restringir el movimiento del humo.

8.2.2.2* Los compartimientos contra el fuego deberán estar formados con barreras contra el fuego que sean continuas desde una pared exterior a la otra, desde una barrera contra el fuego a la otra, o combinación de ambas cosas, incluyendo la continuidad a través de todas las espacios ocultos, tales como los que se encuentran sobre un cielorraso, incluyendo los espacios intersticiales. Las paredes utilizadas como barreras contra el fuego deberán cumplir con el Capítulo 3 de la norma NFPA 221, *Standard for Fire Walls and Fire Barrier Walls*. No se deberá aplicar la limitación de dicha norma sobre el ancho porcentual de las aberturas.

Excepción: No deberá exigirse que una barrera contra el fuego, requerida para un espacio ocupado que se encuentra bajo un espacio intersticial, se extienda desde el espacio intersticial, siempre que el conjunto de la construcción que forma la parte inferior del espacio intersticial tenga una clasificación de resistencia al fuego igual a la de la barrera contra el fuego.

8.2.3 Barreras Contra el Fuego.

8.2.3.1 Conjuntos Evaluados como Resistentes al Fuego.

8.2.3.1.1 Los conjuntos piso-cielorraso y las paredes utilizadas como barreras contra el fuego, incluyendo la construcción de soporte, deberán ser de un diseño que haya sido ensayado para cumplir con las condiciones de aceptación de la norma NFPA 251, *Standard Methods of Tests of Fire Endurance of Building Construction and Materials*. Las barreras contra el fuego deberán ser continuas, de acuerdo con 8.2.2.2.

Excepción No. 1: Se deberá requerir que los elementos estructurales tengan sólo la clasificación de resistencia al fuego requerida para la clasificación de la construcción del edificio donde dichos elementos soporten paredes no portantes o conjuntos de divisiones que tienen una clasificación de resistencia al fuego de 1 hora o menos, y dichos elementos no sirvan como cerramientos de salidas o protección para aberturas verticales.

*Excepción No. 2:** Este requisito no deberá aplicarse a los conjuntos que se calculó tienen clasificación de resistencia al fuego equivalente, siempre que los cálculos estén basados en las condiciones de aceptación y en la exposición al fuego especificados en la norma NFPA 251, *Standard Methods of Tests of Fire Endurance of Building Construction and Materials*.

Excepción No. 3: Este requisito no deberá aplicarse a los elementos estructurales que soportan conjuntos de pisos de acuerdo con la Excepción a 18.1.6.2.

8.2.3.1.2 Las barreras contra el fuego utilizadas para proporcionar un cerramiento, una subdivisión o una protección bajo este Código, se deberán clasificar de acuerdo con su clasificación de resistencia al fuego, en la forma siguiente:

- (1) clasificación de resistencia al fuego de 2 horas
- (2) clasificación de resistencia al fuego de 1 hora
- (3) *clasificación de resistencia al fuego de ½ hora.

8.2.3.2 Protectores de Aberturas Evaluados para Protección contra Incendios.

8.2.3.2.1 Los conjuntos de puertas en las barreras contra incendios deberán ser de un tipo con una evaluación de protección contra incendios adecuada para la ubicación en que están instalados y deberán cumplir con lo siguiente:

(a) *Las puertas contra incendios deberán ser instaladas de acuerdo con la norma NFPA 80, *Standard for Fire Doors and Fire Windows*. Las puertas contra incendios deberán tener un diseño que haya sido ensayado para cumplir las condiciones de aceptación de la norma NFPA 252, *Standard Methods of Fire Tests of Door Assemblies*.

Excepción: El requisito de 8.2.3.2.1(1) no deberá aplicarse salvo lo permitido en 8.2.3.2.3.1.

(b) Las puertas contra incendios deberán ser autocerrantes o de cierre automático de acuerdo con 7.2.1.8 y, cuando se utilicen dentro de los medios de egreso, deberán cumplir con las disposiciones de 7.2.1.

8.2.3.2.2 Los conjuntos de ventanas contra incendios se deberán permitir en las barreras contra el fuego que tengan una evaluación requerida contra el fuego de 1 hora o menos y deberán ser de un tipo aprobado con una evaluación adecuada de protección contra el fuego para la ubicación en la que estén instalados. Las ventanas contra incendios se deberán instalar de acuerdo con la norma NFPA 80, *Standard for Fire Doors and Fire Windows*, y deberá cumplir con lo siguiente:

- (1) *Las ventanas contra incendios utilizadas en las barreras contra incendios, que no sean las instalaciones de ventanas contra incendios existentes de vidrio con malla de alambre y otros materiales vidriados con clasificación de resistencia al fuego en marcos metálicos aprobados, deberán ser de un diseño que haya sido ensayado para cumplir con las condiciones de aceptación de la norma NFPA 257, *Standard on Fire Test for Window and Glass Block Assemblies*.
- (2) Las ventanas contra incendios utilizadas en las barreras contra incendios, que no sean las instalaciones de ventanas contra incendios existentes de vidrio con malla de alambre y otros materiales vidriados con clasificación de resistencia al fuego en marcos metálicos aprobados, no deberán exceder el 25% del área de la barrera contra el fuego en la que son utilizadas.

Excepción: Se deberá permitir que el material vidriado evaluado contra incendios sea instalado en los marcos ya existentes.

8.2.3.2.3* Protectores de Aberturas.

8.2.3.2.3.1 Cada abertura en una barrera contra el fuego deberá estar protegida para limitar la propagación del fuego y restringir el movimiento de humo desde un lugar de la barrera contra el fuego a otro. La evaluación contra el fuego para los protectores de aberturas deberá ser la siguiente:

- (1) barrera contra el fuego de 2 horas - evaluación de protección contra incendios de 1½ hora
- (2) barrera contra el fuego de 1 hora - evaluación de protección contra incendios de 1 hora cuando se utiliza para las aberturas verticales o cerramiento de salidas, o de ¾ horas cuando se utiliza para aberturas que no son verticales o cerramientos que no son de salida excepto cuando en el Capítulo 7 y en los Capítulos 11 a 42 se especifique una evaluación menor de protección contra el fuego.

*Excepción No. 1: Cuando la barrera de fuego especificada en 8.2.3.2.3.1(2) sea proporcionada como resultado de un requisito que exija que las paredes de los corredores o las barreras contra el humo sean de una construcción que tenga una evaluación de resistencia contra el fuego, se deberá permitir que los protectores de aberturas tengan una evaluación mínima de protección contra el fuego de 20 min cuando sean ensayados de acuerdo con la norma NFPA 252, *Standard Methods of Fire Tests of Door Assemblies*, sin el ensayo de chorro de manguera.*

Excepción No. 2: Los requisitos de 8.2.3.2.3.1(2) no deberán aplicarse cuando en los Capítulos 18 a 21 se especifiquen requisitos especiales para las puertas evaluadas en 1 hora de resistencia al fuego, paredes de corredores y barreras contra el humo evaluadas en 1 hora de protección contra el fuego.

Excepción No. 3: Se deberá permitir que continúen en uso las puertas existentes que tengan una evaluación de protección contra el fuego de ¾ hora en las aberturas verticales y en los cerramientos de las salidas en lugar de las puertas con una evaluación de protección contra el fuego de 1 hora requeridas en 8.2.3.2.3.1(2).

- (3) barrera contra el fuego de ½ hora - evaluación de protección contra incendios de 30 min.

*Excepción: Se deberá permitir que las puertas contra incendio que tengan una evaluación de protección contra incendios de 20 minutos estén exentas de ensayo de chorro de manguera de la norma NFPA 252, *Standard Methods of Fire Tests of Door Assemblies*.*

8.2.3.2.3.2 Cuando en los edificios existentes se requiera una puerta con una evaluación de protección contra incendios de 20 min. se deberá permitir una puerta sólida ya existente de núcleo de madera consolidado de 1 3/4 pulg. (44 cm) o una puerta ya existente de madera revestida de acero (estaño), o una puerta sólida ya existente de núcleo de acero con picaporte y cerrador positivos.

Excepción: Este requisito no deberá aplicarse salvo según lo permitido en los Capítulos 11 a 42.

8.2.3.2.4 Penetraciones y Aberturas Misceláneas en Barreras contra el Fuego.

8.2.3.2.4.1* Las aberturas en las barreras contra el fuego para conductos de entrada y salida de aire o movimiento de aire deberán estar protegidas de acuerdo con 7.2.1.

8.2.3.2.4.2* Las tuberías, los conductos, los conductos transportadores, los cables, los alambres, los tubos y los conductos neumáticos y los equipos similares de servicio del edificio deberán estar protegidos en la forma siguiente:

- (1) El espacio entre el objeto penetrante y la barrera contra el fuego deberá cumplir una de las condiciones siguientes:
 - a. Estar relleno con un material capaz de mantener la resistencia al fuego de la barrera contra incendios.
 - b. Estar protegido mediante un dispositivo aprobado diseñado para ese propósito.
- (2) Cuando el objeto penetrante utilice un manguito para penetrar la barrera contra el fuego, el manguito deberá estar sólidamente asentado en la barrera contra el fuego, y el espacio entre el objeto y el manguito deberá cumplir una de las condiciones siguientes:
 - a. Estar relleno con un material capaz de mantener la resistencia al fuego de la barrera contra el fuego.
 - b. Estar protegido por un dispositivo aprobado diseñado específicamente para ese propósito.
- (3) *El aislamiento y los recubrimientos para tubos y conductos no deberán atravesar la barrera contra el fuego, a menos que se cumpla una de las condiciones siguientes:
 - a. El material sea capaz de mantener la resistencia al fuego de la barrera contra el fuego.
 - b. El material esté protegido por un dispositivo aprobado diseñado específicamente para ese propósito.

(4) Cuando el diseño tenga en cuenta la transmisión de la vibración, cualquier aislamiento de la vibración deberá cumplir una de las condiciones siguientes:

- a. Estar hecha sobre cualquiera de los lados de la barrera contra el fuego.
- b. Estar hecha con un dispositivo aprobado diseñado específicamente para ese propósito.

8.2.4 Particiones Anti-Humo.

8.2.4.1 Donde así lo requiera cualquier otra parte del Código deberán proporcionarse particiones para limitar la transferencia del humo.

8.2.4.2 Las particiones anti-humo deberán extenderse desde el piso hasta el lado inferior del piso superior o de la cubierta del techo, a través de todos los espacios ocultos, como los que se encuentran encima de los cielorrasos suspendidos, y a través de los espacios estructurales y mecánicos intersticiales.

*Excepción: * Las particiones anti-humo deberán poder terminar del lado inferior de un sistema de cielorrasos monolítico o suspendido, cuando se cumplan las siguientes condiciones:*

- (a) *El sistema de cielorrasos forme una membrana continua.*
- (b) *Se provea una junta estanca al humo entre la parte superior de la partición contra el humo y la parte inferior del cielorraso suspendido.*
- (c) *El espacio ubicado por encima del cielorraso no se utilice como plenum.*

8.2.4.3 Puertas.

8.2.4.3.1 Las puertas de las particiones anti-humo deberán cumplir con 8.2.4.3.2 a 8.2.4.3.5.

8.2.4.3.2 Las puertas deberán cumplir con la disposiciones de 7.2.1.

8.2.4.3.3 Las puertas no deberán incluir rejillas.

8.2.4.3.4* Los espacios libres de las puertas deberán cumplir con la norma NFPA 80, *Standard for Fire Doors and Fire Windows*.

8.2.4.3.5 Las puertas deberán ser autocerrantes o cierre automático según 7.2.1.8.

REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES

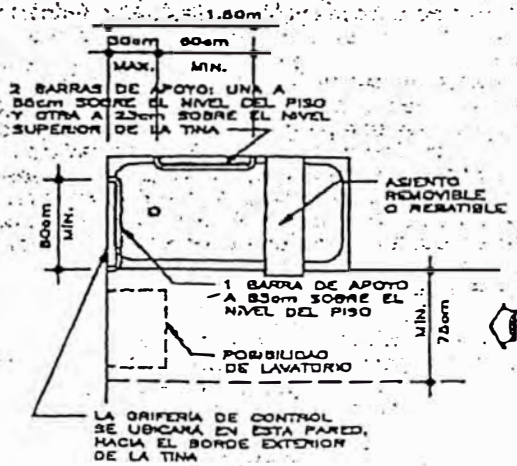


GRÁFICO 5
TINAS

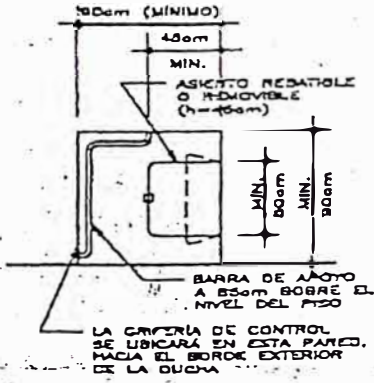


GRÁFICO 6
DUCHAS

NORMA A.130

**REQUISITOS DE SEGURIDAD
GENERALIDADES**

Artículo 1.- Las edificaciones, de acuerdo con su uso y número de ocupantes, deben cumplir con los requisitos de seguridad y prevención de siniestros que tienen como objetivo salvaguardar las vidas humanas y preservar el patrimonio y la continuidad de la edificación.

**CAPITULO I
SISTEMAS DE EVACUACIÓN**

Artículo 2.- El presente capítulo desarrollará todos los conceptos y cálculos necesarios para asegurar un adecuado sistema de evacuación dependiendo del tipo y uso de la edificación. Estos son requisitos mínimos que deberán ser aplicados a las edificaciones.

Artículo 3.- Todas las edificaciones tienen una determinada cantidad de personas en función al uso, la cantidad y forma de mobiliario y/o el área de uso disponible para personas. Cualquier edificación puede tener distintos usos y por lo tanto variar la cantidad de personas y el riesgo en la misma edificación siempre y cuando estos usos estén permitidos en la zonificación establecida en el Plan Urbano.

El cálculo de ocupantes de una edificación se hará según lo establecido para cada tipo en las normas específicas A.020, A.030, A.040, A.050, A.060, A.070, A.080, A.090, A.100 y A.110.

En los tipos de locales en donde se ubique mobiliario específico para la actividad a la cual sirve, como butacas, mesas, maquinaria (cines, teatros, estadios, restaurantes, hoteles, industrias), deberá considerarse una persona por cada unidad de mobiliario.

La comprobación del cálculo del número de ocupantes (densidad), deberá estar basada en información estadística para cada uso de la edificación, por lo que los propietarios podrán demostrar aforos diferentes a los calculados según los estándares establecidos en este reglamento.

El Ministerio de Vivienda en coordinación con las Municipalidades y las Instituciones interesadas efectuarán los estudios que permitan confirmar las densidades establecidas para cada uso.

Artículo 4.- Sin importar el tipo de metodología utilizada para calcular la cantidad de personas en todas las áreas de una edificación, para efectos de cálculo de cantidad de personas debe utilizarse la sumatoria de todas las personas (evacuantes). Cuando exista una misma área que tenga distintos usos deberá utilizarse para efectos de cálculo, siempre el de mayor densidad de ocupación.

Ninguna edificación puede albergar mayor cantidad de gente a la establecida en el aforo calculado.

**SUB-CAPITULO I
PUERTAS DE EVACUACIÓN**

Artículo 5.- Las salidas de emergencia deberán contar con puertas de evacuación de apertura desde el interior accionadas por simple empuje. En los casos que por razones de protección de los bienes, las puertas de evacuación deban contar con cerraduras con llave, estas deberán tener un letrero iluminado y señalizado que indique «Esta puerta deberá permanecer sin llave durante las horas de trabajo».

Artículo 6.- Las puertas de evacuación pueden o no ser de tipo cortafuego, dependiendo su ubicación dentro del sistema de evacuación. El giro de las puertas deben ser siempre en dirección del flujo de los evacuantes, siempre y cuando el ambiente tenga más de 50 personas.

Artículo 7.- La fuerza necesaria para destrabar el pestillo de una manija (cerradura) o barra antipánico será de 15 libras. La fuerza para empujar la puerta en cualquier caso no será mayor de 30 libras fuerza.

Artículo 8.- Dependiendo del planteamiento de evacuación, las puertas que se ubiquen dentro de una ruta o como parte de una ruta o sistema de evacuación podrán contar con los siguientes dispositivos:

- a) Brazo cierra puertas: Toda puerta que forme parte de un cerramiento contrafuego incluyendo ingresos a escaleras de evacuación, deberá contar con un brazo cierra puertas aprobado para uso en puertas cortafuego.
- b) En caso se tengan puertas de doble hoja con cerrajería de un punto y cierra puertas independientes, deberá considerarse un dispositivo de ordenamiento de cierre de puertas.
- c) Manija o tirador: Las puertas que no requieran barra antipánico deberán contar con una cerradura de manija. Las manijas para puertas de evacuación deberán ser aprobadas y certificadas para uso de personas con discapacidad.
- d) Barra antipánico: Serán obligatorias, únicamente para carga de ocupantes mayor a 100 personas en cualquier caso y en locales de reunión mayores de 50 personas, locales de Salud y áreas de alto riesgo con más de 5 personas. La altura de la barra en la puerta deberá estar entre 30" a 44". Las barras antipánico requeridas en puertas con resistencia al fuego deben tener una certificación.

Artículo 9.- Cerraduras para salida retardada: Los dispositivos de salida retardada pueden ser utilizados en cualquier lugar excepto: áreas de reunión, centros educativos y edificaciones de alto riesgo, siempre y cuando la edificación se encuentre totalmente equipada con un sistema de rociadores y un sistema de detección y alarma de incendio adicionalmente deberán cumplir con las siguientes condiciones:

- a) De producirse una alarma de incendio o una pérdida de energía hacia el dispositivo, debe eliminarse el retardo.

b) El dispositivo debe tener la capacidad para ser desbloqueado manualmente por medio de una señal desde un centro de control.

c) El pestillo de la barra de retardo deberá liberarse en un tiempo no mayor de quince segundos de aplicarse una fuerza máxima de 15 libras durante 1 segundo en la barra. Luego de abrirse el dispositivo solo podrá activarse (armar) nuevamente de forma manual.

d) Debe instalarse un letrero con letras de 0.25 m de alto, a 0.30 m. sobre la barra de apertura, que indique «Presione la barra hasta que suene la alarma. La puerta se abrirá en 15 segundos.»

e) La puerta de escape debe contar con iluminación de emergencia

f) Los evacuantes de una edificación no podrán encontrar más de un dispositivo de retardo en toda la vía de evacuación.

Artículo 10.- Las Puertas Cortafuego tendrán una resistencia equivalente a $\frac{3}{4}$ de la resistencia al fuego de la pared, corredor o escalera a la que sirve y deberán ser a prueba de humo. Solo se aceptarán puertas aprobadas y certificadas para uso cortafuego. Todo los dispositivos como marco, bisagras cierra puertas, manija cerradura o barra antipánico que se utilicen en estas puertas deberán contar con una certificación de aprobación para uso en puertas cortafuego, de la misma resistencia de la puerta a la cual sirven.

Artículo 11.- En casos especiales cuando se utilicen mirillas, visores o vidrios como parte de la puerta o puertas, íntegramente de vidrio deberán ser aprobadas y certificadas como dispositivos a prueba de fuego de acuerdo al rango necesario. Todas las puertas y marcos cortafuego deberán llevar en lugar visible el número de identificación, y rótulo de resistencia al fuego. Las puertas cortafuego deberán tener el anclaje del marco siguiendo las especificaciones del fabricante de acuerdo al material del muro.

SUB-CAPITULO II MEDIOS DE EVACUACIÓN

Artículo 12.- Los medios de evacuación son componentes de una edificación, destinados a canalizar el flujo de ocupantes de manera segura hacia la vía pública o a áreas seguras para su salida durante un siniestro o estado de pánico colectivo.

Artículo 13.- En los pasajes de circulación, escaleras integradas, escaleras de evacuación, accesos de uso general y salidas de evacuación, no deberá existir ninguna obstrucción que dificulte el paso de las personas, debiendo permanecer libres de obstáculos.

Artículo 14.- Deberán considerarse de forma primaria las evacuaciones horizontales en, Hospitales, clínicas, albergues, cárceles, industrias y para proporcionar protección a discapacitados en cualquier tipo de edificación.

Las evacuaciones horizontales pueden ser en el mismo nivel dentro de un edificio o aproximadamente al mismo nivel entre edificios siempre y cuando lleven a un área de refugio definidos por barreras contra fuego y humos.

El área de refugio a la cual esta referida el párrafo anterior, debe tener como mínimo una escalera cumpliendo los requerimientos para escaleras de evacuación.

Las áreas de refugio deben tener una resistencia al fuego de 1 hora para edificaciones de hasta 3 niveles y de 2 horas para edificaciones mayores de 4 niveles.

Artículo 15.- Se considerará medios de evacuación, a todas aquellas partes de una edificación proyectadas para canalizar el flujo de personas ocupantes de la edificación hacia la vía pública o hacia áreas seguras, como pasajes de circulación, escaleras integradas, escaleras de evacuación, accesos de uso general y salidas de evacuación.

Artículo 16.- Las rampas serán consideradas como medios de evacuación siempre y cuando la pendiente no sea mayor a 12%. Deberán tener pisos antideslizantes y barandas de iguales características que las escaleras de evacuación.

Artículo 17.- Solo son permitidos los escapes por medios deslizantes en instalaciones de tipo industrial de alto riesgo y sean aprobadas por la Autoridad Competente.

Artículo 18.- No se consideran medios de evacuación los siguientes medios de circulación:

- a) Ascensores
- b) Rampas de accesos vehiculares que no tengan veredas peatonales y/o cualquier rampa con pendiente mayor de 12%.
- c) Escaleras mecánicas
- d) Escalera tipo caracol: (Solo son aceptadas para riesgos industriales que permitan la comunicación exclusivamente de un piso a otro y que la capacidad de evacuación no sea mayor de cinco personas. Para casos de vivienda unifamiliar, son permitidas como escaleras de servicio y para edificios de vivienda solo se aceptan al interior de un duplex y con una extensión no mayor de un piso a otro).
- e) Escalera de gato

Artículo 19.- Los ascensores constituyen una herramienta de acceso para el personal del Cuerpo de Bomberos, por lo cual en edificaciones mayores de 10 niveles es obligatorio que todos los ascensores cuenten con:

- a) Sistemas de intercomunicadores
- b) Llave maestra de anulación de mando
- c) Llave de bombero que permita el direccionamiento del ascensor únicamente desde el panel interno del ascensor, eliminando cualquier dispositivo de llamada del edificio.

SUB-CAPITULO III CALCULO DE CAPACIDAD DE MEDIOS DE EVACUACIÓN

Artículo 20.- Para calcular el número de personas que puede estar dentro de una edificación en cada piso y área de uso, se emplearán las tablas de número de ocupantes que se encuentran en las normas A.20 a la A.110 según cada tipología.

La carga de ocupantes permitida por piso no puede ser menor que la división del área del piso entre el coeficiente de densidad, salvo en el caso de ambientes con mobiliario fijo o sustento expreso o estadístico de acuerdo a usos similares.

Artículo 21.- Se debe calcular la máxima capacidad total de edificio sumando las cantidades obtenidas por cada piso, nivel o área.

Artículo 22.- Determinación del ancho libre de los componentes de evacuación:

Ancho libre de puertas y rampas peatonales: Para determinar el ancho libre de la puerta o rampa se debe considerar la cantidad de personas por el área piso o nivel que sirve y multiplicarla por el factor de 0.005 m por persona. El resultado debe ser redondeado hacia arriba en módulos de 0.60 m.

La puerta que entrega específicamente a una escalera de evacuación tendrá un ancho libre mínimo medido entre las paredes del vano de 1.20 m.

Ancho libre de pasajes de circulación: Para determinar el ancho libre de los pasajes de circulación se sigue el mismo procedimiento, debiendo tener un ancho mínimo de 1.20 m. En edificaciones de uso de oficinas los pasajes que aporcen hacia una ruta de escape interior y que reciban menos de 50 personas podrán tener un ancho de 0.90 m.

Ancho libre de escaleras: Debe calcularse la cantidad total de personas del piso que sirven hacia una escalera y multiplicar por el factor de 0.008 m por persona.

Artículo 23.- En todos los casos las escaleras de evacuación no podrán tener un ancho menor a 1.20 m.

Cuando se requieran escaleras de mayor ancho deberá instalarse una baranda por cada dos módulos de 0.60 m. El número mínimo de escalera que requiere una edificación se establece en la Norma A.010 del presente Reglamento Nacional de Edificaciones.

Artículo 24.- El factor de cálculo de centros de salud, asilos, que no cuenten con rociadores será de 0.015 m por persona en escaleras y de 0.013 m por persona, para puertas y rampas.

Artículo 25.- Los tiempos de evacuación solo son aceptados como una referencia y no como una base de cálculo. Esta referencia sirve como un indicador para evaluar la eficiencia de las evacuaciones en los simulacros, luego de la primera evacuación patrón.

Artículo 26.- La cantidad de puertas de evacuación, pasillos, escaleras está directamente relacionado con la necesidad de evacuar la carga total de ocupantes del edificio y teniendo adicionalmente que utilizarse el criterio de distancia de recorrido horizontal de 45.0 m para edificaciones sin rociadores y de 60.0 m para edificaciones con rociadores.

Para riesgos especiales se podrán sustentar distancias de recorrido mayor basado en los requisitos adicionales que establece el Código NFPA 101.

Artículo 27.- Para calcular la distancia de recorrido del evacuante deberá ser medida desde el punto más alejado del recinto hasta el ingreso a un medio seguro de evacuación. (Puerta, pasillo, o escalera de evacuación protegidos contra fuego y humos)

Artículo 28.- Para centros comerciales o complejos comerciales, mercados techados, salas de espectáculos al interior de los mismos, deberán considerarse los siguientes criterios de evacuación:

a) Las tiendas por departamentos, Supermercados y Sala de Espectáculos, no deben aportar evacuantes al interior del centro comercial o complejo comercial cuando no consideren un pasadizo protegido contra fuego entre la tienda por departamentos y las tiendas menores, de manera que colecte la evacuación desde la puerta de salida de la tienda por departamentos al exterior del centro comercial. Caso contrario deberán ser autónomas en su capacidad de evacuación.

b) Deben tener como mínimo los siguientes requerimientos de evacuación.

Número de ocupantes mayores de 500 y no más de 1000 personas	No menos de 3 salidas
Número de ocupantes mayor de 1000 personas	No menos de 4 salidas

c) Los centros comerciales, complejos comerciales, tiendas por departamento o similares no podrán evacuar mas del 50% del número de ocupantes por una misma salida.

d) Es permitido el uso de propagandas, mostradores, puntos de ventas en los ingresos siempre y cuando, estos no invadan el ancho requerido de evacuación, que no es equivalente al ancho disponible. Dichos elementos deberán estar convenientemente anclados con el fin de evitar que se conviertan en una obstrucción durante la evacuación.

e) En tiendas por departamentos, mercados techados, supermercados, con un área comercial mayor a 2800 m² por planta, deberá tener por lo menos un pasadizo de evacuación con un ancho no menor a 1.50 m.

SUB-CAPITULO IV REQUISITOS DE LOS SISTEMAS DE PRESURIZACIÓN DE ESCALERAS

Artículo 29.- El ventilador y el punto de toma de aire deben ubicarse en un área libre de riesgo de contaminación por humos, preferentemente en el exterior o azotea de la edificación.

Artículo 30.- No es permitida la instalación del ventilador en sótanos o lugares cerrados, donde un incendio adyacente pueda poner en riesgo la extracción de aire, cargando la escalera de humo. El sistema debe contar con inyección de aire para cada piso. La diferencia de presión mínima de diseño entre el interior y el exterior de la caja de la escalera debe ser de 0.05 pulgadas de columna de agua y el máximo de 0.45 pulgadas de columna de agua para edificios protegidos al 100% con rociadores.

Artículo 31.- El cálculo para el diseño de la escalera se debe realizar teniendo en cuenta como mínimo la puerta de salida en el nivel de evacuación y puertas adicionales dependiendo del numero de pisos, cantidad de personas evacuando, u otra condición que obligue a considerar una puerta abierta por un tiempo prolongado. La máxima fuerza requerida para abrir cada una de las puertas de la caja de la escalera no deberá exceder las 30 lbf.

Artículo 32.- La succión y descarga de aire de los sopladores o ventiladores debe estar dotada de detectores de humo interconectados con el sistema de detección y alarmas del edificio de tal manera que se detenga auto-

máticamente en caso de que ingrese humo por el modelo. El ventilador deberá ser activado automáticamente ante la activación de cualquier dispositivo del sistema de detección y alarma. Como mínimo deberá activarse por medio de detectores de humo ubicados en cada acceso a las escaleras de escape a no menos de 3.0 m de las puertas de escape.

Artículo 33.- La interconexión con el sistema de alarmas y detección (cables) debe tener una protección cortafuego para mínimo 2 horas.

Artículo 34.- La alimentación de energía para los motores del ventilador debe contar con dos fuentes independientes, de transferencia automática. Las rutas de dichos suministros deben ser independientes y protegidos contra fuego por 2 horas. La transferencia de la fuente de alimentación primaria a la secundaria se debe realizar dentro de los 30 segundos posteriores a la falla de fuente primaria. Se debe separar la llave de control de los motores de presurización de forma que el contactor general no actúe sobre esta alimentación. Todos los cables de suministro eléctrico desde el tablero de alimentación hasta la entrada a motor del ventilador deben contar con una protección cortafuego para mínimo 2 horas.

Artículo 35.- El ventilador deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- Listado o equivalente.
- Preferentemente del tipo centrífugo radial.
- En el caso de que el ventilador sea impulsado por medio de fajas el número de estas debe ser cuando menos 1.5 veces el número de fajas requeridas para el servicio de diseño.
- Todo ventilador impulsado por medio de fajas debe tener cuando menos dos fajas.
- Los cálculos para la selección y la curva del fabricante deben formar parte de los documentos entregados.
- Bajo ningún motivo el motor operará por encima de la potencia de placa. La potencia de trabajo de determinará mediante una medición de campo con tres puertas abiertas.
- El motor impulsor debe tener cuando menos un factor de servicio de 1.15.
- El ventilador debe contar con guardas protectoras para las fajas.
- El ventilador debe contar con una base para aislar vibraciones.

Artículo 36.- Los dampers y los ductos deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- Los dampers deben ser listados según UL 555S.
- Los rodamientos de los dampers deben ser auto lubricados o de bronce.
- Las hojas deben ser galvanizadas.
- Los ductos pueden ser de hierro, acero, aluminio, cobre, concreto, baldosas o mampostería, según sea el caso.
- Cuando los ductos se encuentren expuestos dentro del edificio deberán tener un cerramiento contra fuego de 2 horas.

CAPITULO II SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD

Artículo 37.- La cantidad de señales, los tamaños, deben tener una proporción lógica con el tipo de riesgo que protegen y la arquitectura de la misma. Las dimensiones de las señales deberán estar acordes con la NFPA 399.010-1 y estar en función de la distancia de observación.

Artículo 38.- Los siguientes dispositivos de seguridad no son necesarios que cuenten con señales manuales siempre y cuando no se encuentren ocultos, ya que por si constituyen equipos de forma reconocida mundialmente, y su ubicación no requiere de señalización adicional. Como son:

- Extintores portátiles
- Estaciones manuales de alarma de incendios
- Detectores de incendio
- Gabinetes de agua contra incendios

g) Válvulas de uso de Bomberos ubicadas en montantes.

h) Puertas cortafuego de escaleras de evacuación
i) Dispositivos de alarma de incendios

Artículo 39.- Todos los locales de reunión, edificios de oficinas, hoteles, industrias, áreas comunes en edificios de vivienda deberán estar provistos obligatoriamente de señalización a lo largo del recorrido así como en cada medio de evacuación, de acuerdo con la NTP 399-010-1, para su fácil identificación; además de cumplir con las siguientes condiciones:

- a) Todas las puertas a diferencia de las puertas principales y que formen parte de la ruta de evacuación deberá estar señalizadas con la palabra SALIDA, de acuerdo a NTP 399-010-1
- b) En cada lugar donde la continuidad de la ruta de evacuación no sea visible, se deberá colocar señales direccionales de salida.
- c) Se colocará una señal de NO USAR EN CASOS DE EMERGENCIA en cada uno de los ascensores; ya que no son considerados como medios de evacuación.
- d) Cada señal deberá tener una ubicación tamaño y color distintivo y diseño que sea fácilmente visible y que contraste con la decoración.
- e) Las señales no deberán ser cubiertas por maquinaria, mercaderías, anuncios comerciales, etc.
- f) Deberán ser instaladas a una altura que permita su fácil visualización.
- g) Deberán tener un nivel de iluminación natural o artificial igual a 50 lux.
- h) El sistema de señalización deberá funcionar en forma continua o en cualquier momento que se active la alarma del edificio.

Artículo 40.- Todos los medios de evacuación deberán ser provistos de iluminación de emergencia que garanticen un periodo de 1 1/2 hora en el caso de un corte de fluido eléctrico y deberán cumplir con las siguientes condiciones:

- a) Asegurar un nivel de iluminación mínimo de 10 lux medios en el nivel del suelo.
- b) En el caso de transferencia de energía automática el tiempo máximo de demora deberá ser de 10 segundos.
- c) La iluminación de emergencia deberá ser diseñada e instalada de manera que si falla una bombilla no deje áreas en completa oscuridad.
- d) Las conexiones deberán ser hechas de acuerdo al CNE Tomo V Art. 7.1.2.1
- e) El sistema deberá ser alimentado por un circuito que alimente normalmente el alumbrado en el área y estar conectado antes que cualquier interruptor local, de modo que se asegure que ante la falta de energía en el área se enciendan las luces.

Artículo 41.- Las salidas de evacuación en establecimientos con concurrencia de público deberán contar con señales luminosas colocadas sobre el dintel de del vano. Las rutas de evacuación contarán con unidades de iluminación autónomas con sistema de baterías, con una duración de 60 minutos, ubicadas de manera que mantengan un nivel de visibilidad en todo el recorrido de la ruta de escape.

CAPITULO II

PROTECCION DE BARRERAS CONTRA EL FUEGO

Artículo 42.- Clasificación de estructuras por su resistencia al fuego.

Para clasificarse dentro del tipo «resistentes al fuego», la estructura, muros resistentes y muros perimetrales de cierre de la edificación, deberán tener una resistencia al fuego mínima de 4 horas, y la tabiquería interior no portante y los techos, una resistencia al fuego mínima de 2 horas.

Artículo 43.- Para clasificarse dentro del tipo «semi-resistentes al fuego», la estructura, muros resistentes y muros perimetrales de cierre de la edificación deberán tener una resistencia al fuego mínima de 2 horas, y la

tabiquería interior no portante y techos, una resistencia al fuego mínima de 1 hora.

Artículo 44.- Para clasificarse dentro del tipo «incombustible con protección», los muros perimetrales de cierre de la edificación deberá tener una resistencia al fuego mínima de 2 horas, y la estructura muros resistentes, techos y tabiquería interior, una resistencia al fuego mínima de 1 hora.

Artículo 45.- La estructura de las construcciones con elementos de madera del «tipo combustible de construcción pesada» se reputara que tiene duración bajo la acción del fuego de una hora.

Artículo 46.- Estructuras clasificadas por su Resistencia al fuego

- a) Construcciones de muros portantes.
- b) Construcciones aporricadas de concreto.
- c) Construcciones especiales de concreto.
- d) Construcciones con elementos de acero.

Artículo 47.- Estructuras no clasificadas por su resistencia al fuego

- a) Construcciones con elementos de madera de la clasificación combustible de la construcción ordinaria.
- b) Construcciones con elementos de acero, de la clasificación sin protección.
- c) Las construcciones de adobe o suelo estabilizado con parámetros y techos ligeros.

TABLA N° 1

TABLAS DE RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS DE PROTECCION AL FUEGO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES

ELEMENTOS ESTRUCTURALES PROTEGIDOS	MATERIAL AISLANTE	RECUBRIMIENTO MÍNIMO POR MATERIAL AISLANTE (EN PULGADAS) CATEGORIAS		
		Resistencia al Fuego (6 Hrs)	Semi Resist. al Fuego (5 Hrs)	Incombust. Con Protección (1 Hrs)
Armaduras en vigas y columnas de concreto armado.	Concreto Estructural	1 1/2	1 1/2	1 1/2
Armadura en viguetas de concreto	Concreto estructural	1 1/4	1	3/4
Armaduras y amarres en losas de pisos y techos	Concreto estructural	1	3/4	3/4
Columnas de acero y todos los elementos de literales principales	Concreto estructural	2 1/2	1 1/2	1
Elementos de 6 x 6	Concreto estructural	2	1	1
Elementos de 6 x 8	Concreto estructural	1 1/2	1	1
Elementos de 12 x 12	Concreto estructural	2	1	1
Vigas de acero Tendones en vigas pre o post esforzadas	Concreto estructural	4	2 1/2	1 1/2
Tendones en placas pre o post esforzadas	Concreto estructural		1 1/2	1

Este espesor se protegerá contra descascaramiento con estribos con espaciamiento no mayor al peralte del elemento, debiendo estos estribos tener un recubrimiento neto de 1 pulgada.

Artículo 48.- Clasificación de los pisos o techos por su resistencia al fuego.

TABLA Nº 2

TABLAS DE ESPESORES MÍNIMOS PARA
PROTECCIÓN AL FUEGO EN PISOS, TECHOS Y
CIELO RASO

CONSTRUCCION DE PISOS O TECHOS	CONSTRUCCION DE CIELO RASO	ESPESOR MINIMO TOTAL EN PULGADAS - CATEGORIAS		
		Resistencia al Fuego (4 Hrs)	Semi Resist. al Fuego (2 Hrs)	Incombust. Con Protección (1 Hrs)
Losa de concreto.	Ninguno	6 1/2	4 1/2	3 1/2
Losa de concreto.	Enlucido de yeso o mortero contra el fondo del techo	6	4	3
Aligerado de viguetas de concreto estructural y ladrillo hueco de techos	Enlucido de yeso o mortero contra el fondo del techo		6" de ladrillo y 2" de losa	
Aligerado de viguetas de concreto estructural y ladrillo hueco de techos	Ninguno			5 1/2 (4" de ladrillo 1 1/2" de losa)
Viguetas de concreto	Cielo raso suspendido de vermiculita de 1" de espesor mínimo colgado 6" debajo de las viguetas	3 (sólo losa)	2 (sólo losa)	
Viguetas de acero con losa de concreto	Cielo raso enlucido en malla incombustible asegurada contra el fondo de las viguetas de espesor mínimo 5/8" y mortero 1:3		2 1/4" (sólo losa)	2" (sólo losa) Combustible Construcción pesada

Artículo 49.- Clasificación de las paredes y tabiques por su resistencia al fuego:

TABLA Nº 3

TABLAS DE ESPESORES MÍNIMOS PARA
PROTECCIÓN AL FUEGO EN PAREDES Y TABIQUES

MATERIALES DE PAREDES O TABIQUES	CONSTRUCCION	ESPESOR MINIMO TOTAL EN PULGADAS - CATEGORIAS		
		Resistencia al Fuego (4 Hrs)	Semi Resist. al Fuego (2 Hrs)	Incombust. Con Protección (1 Hrs)
Concreto armado	Sólido sin enlucir	6 1/2	4 1/2	3 1/2
Ladrillos de arcilla cocida calcáreos o de:	Ladrillos sólidos sin enlucir	3	5	4
Bloques huecos de concreto	Esesor mínimo de cascarón 2 1/4" sin enlucir	3		
	Esesor mínimo de cascarón 1 3/4" sin enlucir	12		
	Esesor mínimo de cascarón 1 3/8" sin enlucir		8	6
Ladrillos huecos de arcilla cocida, no portantes	Dos celdas mínimo dentro del espesor de la pared, enlucido en ambas caras		7	5
	Tres celdas mínimo dentro del espesor de la pared, enlucido en ambas caras	12		
Bloqueo	Enlucido o sin enlucir	6	4	3
Tabique sólido de mortero o yeso	Armazón interno incombustible			2
Paneles de yeso prensado				2

Artículo 50.- Cuando se requieran instalar selladores cortafuego, deberá presentarse un proyecto específico para tal fin, indicando los tipos, formas y materiales que atraviesan el cerramiento cortafuego.

Artículo 51.- Solo se pueden utilizar materiales selladores, de acuerdo a la configuración que cada fabricante haya sometido a pruebas y que la composición del cor junto a proteger se encuentre descritos en el directorio de UL vigente.

CAPITULO IV
SISTEMAS DE DETECCIÓN Y ALARMA DE INCENDIOS

Artículo 52.- La instalación de dispositivos de Detección y Alarma de incendios tiene como finalidad principal, indicar y advertir las condiciones anormales, convocar el auxilio adecuado y controlar las facilidades de los ocupantes para reforzar la protección de la vida humana.

La Detección y Alarma se realiza con dispositivos que identifican la presencia de calor o humo y a través, de una señal perceptible en todo el edificio protegida por esa señal, que permite el conocimiento de la existencia de una emergencia por parte de los ocupantes.

Artículo 53.- Todas las edificaciones que deban ser protegidas con un sistema de detección y alarma de incendios, deberán cumplir con lo indicado en esta Norma en el estándar NFPA 72 en lo referente a diseño, instalación, pruebas y mantenimiento.

Artículo 54.- Los equipos que se estandarizan en esta norma no pueden ser variados, en ninguna otra regulación. Los sistemas de detección y alarma de incendio deberán contar con supervisión constante en el área a cual protegen, con personal entrenado en el manejo del sistema.

Los sistemas que reporten las señales de alarma, supervisión y avería hacia lugares fuera de la propiedad protegida, atendidos de manera continua y que brindan servicio de monitoreo no será necesario que cuenten con supervisión constante en el área protegida.

Artículo 55.- Todo sistema de detección y alarma de incendios, deberá contar con dos fuentes de suministro de energía, de acuerdo con el CNE Tomo V, Capítulo 1. Los circuitos, cableados y equipos deberán encontrarse protegidos de daños por corrientes inducidas de acuerdo a lo establecido en el CNE.

Artículo 56.- Los sistemas de detección y alarma de incendios, deberán interconectarse de manera de controlar, monitorear o supervisar a otros sistemas de protección contra incendios o protección a la vida con son:

- Dispositivos de detección de incendios
- Dispositivos de alarma de incendios
- Detectores de funcionamiento de sistemas de extinción de incendios.
- Monitoreo de funcionamiento de sistemas de extinción de incendios.
- Válvulas de la red de agua contra incendios.
- Bomba de agua contra incendios.
- Control de ascensores para uso de bomberos
- Desactivación de ascensores
- Sistemas de presurización de escaleras.
- Sistemas de administración de humos
- Liberación de puertas de evacuación
- Activación de sistemas de extinción de incendios

Artículo 57.- Los dispositivos de alarmas acústicas deben ser audibles en la totalidad del local, y podrán ser accionados en forma automática por los detectores, punto de control o desde los pulsadores distribuidos en edificación. Esta instalación de alarma audial debe complementarse con adecuadas señales ópticas, cuando así lo requieran las características de los ocupantes del mismo.

Artículo 58.- Los dispositivos de detección de incendios automáticos y manuales, deberán ser seleccionados e instalados de manera de minimizar las falsas alarmas. Cuando los dispositivos de detección se encuentren sujetos a daños mecánicos o vandalismo, deberán contar con una protección adecuada y aprobada para el uso.

Artículo 59.- Los dispositivos de detección de incendios deberán estar instalados de forma tal que se encuentren

NORMAS DE LA UNDERWRITERS LABORATORY (UL)

Fire Dampers

UL 555

Scope

1.1 These requirements cover fire dampers that are intended for use where air ducts penetrate or terminate at openings in walls or partitions; in air transfer openings in partitions; and where air ducts extend through floors as specified in the Standard for Installation of Air-Conditioning and Ventilating Systems, NFPA 90A. Fire dampers are intended for installation in accordance with codes such as the BOCA National Mechanical Code, SBCCI Standard Mechanical Code, ICBO Uniform Mechanical Code, and the International Mechanical Code.

1.2 Fire dampers are evaluated for use as either:

- a) Fire Dampers for Static Systems - For HVAC systems that are automatically shut down in the event of a fire or for air transfer openings in walls or partitions,
- b) Fire Dampers for Dynamic Systems - For HVAC systems that are operational in the event of a fire, or
- c) Combination Fire and Smoke Dampers - For locations in HVAC systems where a fire damper and a smoke damper are required at a single location.

1.3 Under these requirements a fire damper is subjected to a standard fire exposure, controlled to achieve specified temperatures throughout a specified time period, followed by the application of a specified standard hose stream. This exposure by itself is not representative of all fire conditions; conditions vary with changes in the amount, nature, and distribution of fire loading, ventilation, compartment size and configuration, and heat sink characteristics of the compartment. These requirements provide a relative measure of fire performance of fire damper assemblies under these specified fire exposure conditions. Any variation from the construction or conditions that are tested such as method of installation and materials has the potential to substantially change the performance characteristics of the fire damper assembly.

1.4 Fire dampers for static systems (no air flow through the damper) are intended to close automatically upon the detection of heat by a heat responsive device.

1.5 Under these requirements combination fire and smoke dampers and fire dampers for dynamic systems are exposed to standardized heat and airflow conditions and are evaluated for dynamic closure under these conditions.

1.6 Combination fire and smoke dampers shall also comply with the applicable requirements in the Standard for Smoke Dampers, UL 555S.

1.7 Fire dampers for dynamic systems are intended for use where the airflow is operational at the time of fire, such as in a smoke control system, or from other situations in which the fan system is operational at the time of a fire.

1.8 Where fire dampers are required in ducts that penetrate fire barriers and where the duct is also used as part of a smoke control system, the system designer shall ascertain which type of fire damper is appropriate for the application. Fire dampers for dynamic systems are evaluated only for dynamic closure under heated airflow conditions. Combination fire and smoke dampers that have an elevated temperature rating are evaluated for dynamic closure under heated airflow conditions and they are also evaluated to operate under heated air conditions.

1.9 Tests conducted in accordance with these requirements are intended to demonstrate the performance of fire dampers during the period of fire test exposure and are not intended to determine acceptability of fire dampers for use after exposure to fire.

1.10 It is the intent that tests conducted in accordance with the test methods described herein develop data to enable regulatory authorities to determine the acceptability of fire damper assemblies for use in locations where fire resistance of a specified duration is required.

1.11 Fire dampers are intended to close automatically upon the detection of heat by the use of a fusible link or other heat responsive device.

1.12 These requirements do not cover:

- a) Performance of the fire damper assembly in walls, partitions, or floors constructed of materials other than those tested.
- b) The performance of the fire damper assembly when installed using methods other than those fire tested.
- c) Measurement of heat transmission through a fire damper assembly.
- d) Measurement of the degree of control or limitation of the passage of smoke or products of combustion through the fire damper assembly.

U.L. 555 Standard for Fire Dampers

UL 555 - Standard for Fire Dampers - Sections 1-10

The Fifth Edition of the U.L. Standard for Fire Dampers came into effect on May 31, 1995 replacing the fourth edition, which was originally released in January 1990. The requirements of the standard involve fire damper assemblies rated at 1/2, 1 1/2, and 3 hour endurance. The fire dampers covered are intended for HVAC ducts which pass through fire rated walls, partitions, or floor assemblies. All such penetrations through these rated assemblies are taken to be in accordance with the applicable codes such as the Standard for Installation of Air-conditioning and Ventilation Systems NFPA 90A, the BOCA National Mechanical Code, the Standard Mechanical Code, and the Uniform Mechanical Code.

The two types of fire dampers tested are for use with systems that are either static, a system that shuts down automatically in the event of a fire, or dynamic, a system that remains operational during a fire. Fire dampers intended for use with dynamic systems are tested for closure under maximum specified air flow.

Fire dampers are intended to close automatically through detection of heat by a fusible link. Some damper assemblies allow for reopening of the dampers in order to facilitate smoke removal. The fusible links employed by any fire damper assembly are to have activation temperatures of no less than 160 F and no more than 286 F.

Each damper design is tested through a representative range of sizes. For the endurance and hose stream tests, the largest size for a given design is evaluated. For operation and cycling tests, size criteria for testing is dependent upon both shape (rectangular vs. round) and actuation (spring vs. no spring).

The representative design samples are subjected to a Fire Endurance and Hose Stream Test. In this test, the assembly is subjected to a standard fire with known time-temperature characteristics. The fire is to be monitored by no less than 9 thermocouples symmetrically arranged about the test assembly. During the first two hours, temperature readings are to be taken at 5 minute intervals after which the intervals may increase to no more than 10 minutes. When compared to the standard curve, the actual time temperature data is to be accurate within 10% for tests of less than 1 hour, 7.5% for tests between 1 and 2 hours, and 5% for those longer than 2 hours.

For single damper assemblies, two samples of the design are installed, one with the upstream side facing the furnace and the other with the downstream side facing the furnace.

With multiple assemblies, half are installed with the downstream side to the furnace and half with the upstream side to the furnace. If an assembly contains an odd number of dampers, the extra assembly is installed on the upstream side.

The test assembly is subjected to the fire for the time it is to be rated, or until the specimen fails. The damper assembly is then subjected to a hose stream from a 2 1/2" hose at a predetermined standard pressure.

Test performance for the Fire Endurance and Hose Stream Test is evaluated according to damper closing time, fire resistance, and warpage. All dampers are to close and latch automatically, where a latch mechanism applies, within the first 60 seconds of exposure to the fire. During fire exposure there is to be no flaming of damper components on the unexposed side. Any warping of the damper due to the furnace or hose stream should not cause any warpage that would create visible openings through the damper assembly.

Fire Tests of Door Assemblies **UL 10B**

Scope

These methods of fire tests are applicable to door assemblies of various materials and types of construction for use in wall openings to retard the passage of fire.

Tests made in conformity with these test methods register performance during the test exposure; and such tests shall not be construed as determining compliance for use after exposure to fire.

It is the intent that tests made in conformity with these test methods develop data to enable regulatory bodies to determine the compliance of door assemblies for use in locations where fire resistance of a specified duration is required.

These methods are intended to evaluate the ability of a door assembly to remain in an opening during a predetermined test exposure.

The tests expose a specimen to a standard fire exposure controlled to achieve specified temperatures throughout a specified time period, followed by the application of a specified standard fire hose stream. The exposure, however, is not representative of all fire conditions, which vary with changes in the amount, nature, and distribution of fire loading, ventilation, compartment size and configuration, and heat sink characteristics of the compartment. It does, however, provide a relative measure of fire performance of door assemblies under these specified fire exposure conditions.

Any variation from the construction or conditions that are tested is capable of substantially changing the performance characteristics of the assembly.

The methods do not provide the following:

1. Full information as to performance of all door assemblies in walls constructed of materials other than those tested.
2. Evaluation of the degree by which the door assembly contributes to the risk of fire by generation of smoke, toxic gases, or other products of combustion.
3. A temperature limit on the unexposed side of the door assembly.
4. A limit on the number of openings intended in glazed areas or of the number and size of lateral openings between the door and frame.

5. Measurement of the degree of control or limitation of the passage of smoke or products of combustion through the door assembly.

A product that contains features, characteristics, components, materials, or systems new or different from those covered by the requirements in this standard, and that involves a risk of fire or of electric shock or injury to persons shall be evaluated using appropriate additional component and end-product requirements to maintain the level of safety as originally anticipated by the intent of this standard. A product whose features, characteristics, components, materials, or systems conflict with specific requirements or provisions of this standard does not comply with this standard. Revision of requirements shall be proposed and adopted in conformance with the methods employed for development, revision, and implementation of this standard.

Positive Pressure Fire Tests of Door Assemblies **UL 10C**

Scope

These methods of fire tests are applicable to swinging door assemblies, including door frames with lights and panels, of various materials and types of construction for use in wall openings to retard the passage of fire. The method does not provide an evaluation of a swinging door assembly when that assembly is part of a larger assembly (e.g. sliding fire door assembly), or when it is intended to be used as an elevator entrance.

Tests made in conformity with these test methods are intended to register performance during the test exposure; but such tests shall not be construed as determining suitability for use after exposure to fire.

It is the intent that tests made in conformity with these test methods allow for the development of data to enable regulatory bodies to determine the suitability of door assemblies for use in locations where fire resistance of a specified duration is required.

These methods are intended to evaluate the ability of a door assembly to remain in an opening during a predetermined test exposure.

The tests expose a specimen to a standard fire exposure controlled to achieve specified temperatures throughout a specified time period, followed by the application of a specified standard fire hose stream. The exposure, however, is not representative of all fire conditions, which vary with changes in the amount, nature, and distribution of fire loading, ventilation, compartment size and configuration, and heat sink characteristics of the compartment. It does, however, provide a relative measure of fire performance of door assemblies under these specified fire exposure conditions.

Any variation from the construction or conditions that are tested is capable of substantially changing the performance characteristics of the assembly.

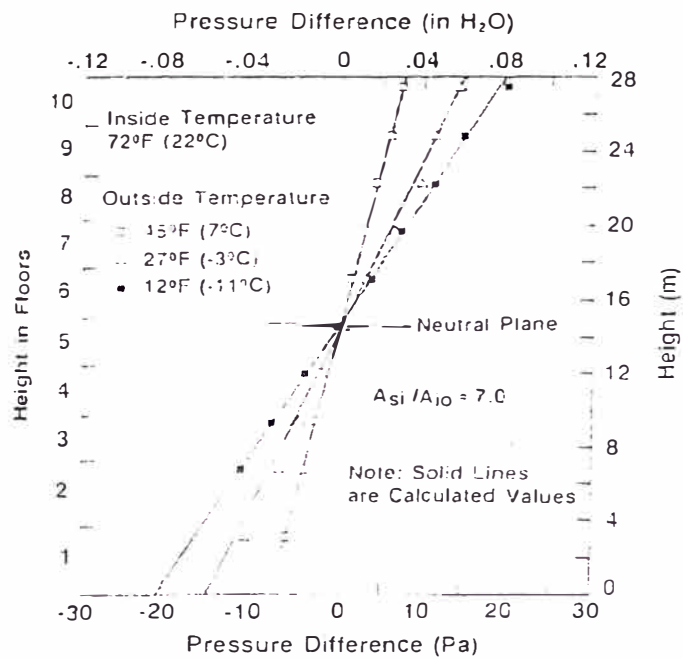
The methods do not provide the following:

1. Full information as to performance of all door assemblies in walls constructed of materials other than those tested.
2. Evaluation of the degree by which the door assembly contributes to the risk of fire by generation of smoke, toxic gases, or other products of combustion.

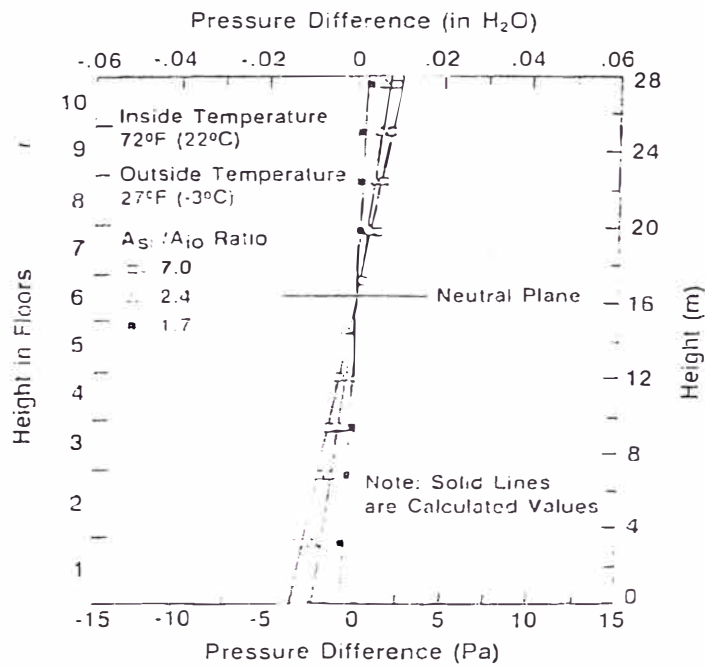
3. A temperature limit on the unexposed side of the door assembly.
4. A limit on the number of openings allowed in glazed areas or of the number and size of lateral openings between the door and frame.
5. Measurement of the degree of control or limitation of the passage of smoke or products of combustion through the door assembly. Note: See limitations for the passage of smoke detailed in the Recommended Practice for the Installation of Smoke-Control Door Assemblies, NFPA 105.

A product that contains features, characteristics, components, materials, or systems new or different from those covered by the requirements in this standard, and that involves a risk of fire or of electric shock or injury to persons shall be evaluated using appropriate additional component and end-product requirements to maintain the level of safety as originally anticipated by the intent of this standard. A product whose features, characteristics, components, materials, or systems conflict with specific requirements or provisions of this standard does not comply with this standard. Revision of requirements shall be proposed and adopted in conformance with the methods employed for development, revision, and implementation of this standard.

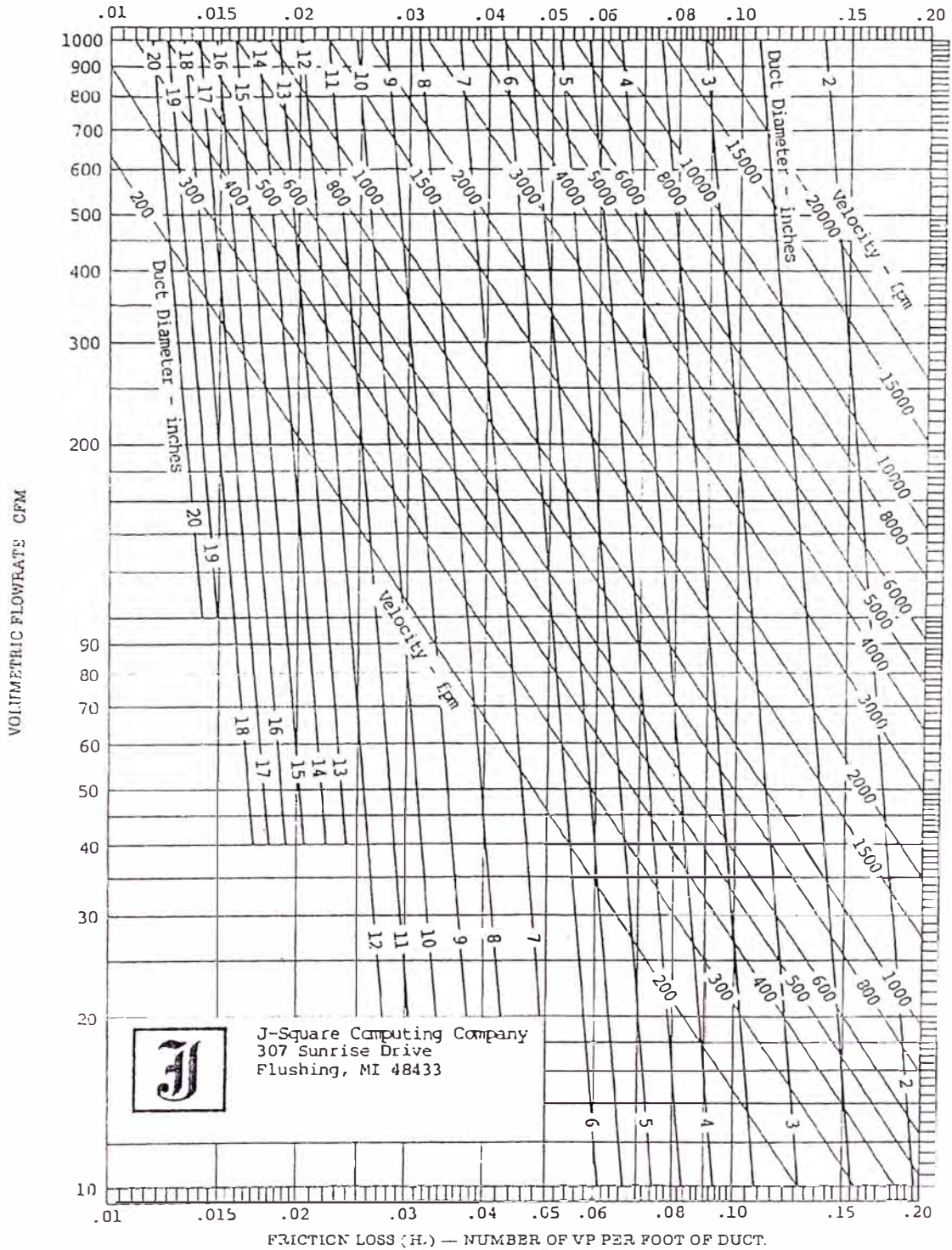
ANEXO B
TABLAS Y GRAFICAS



Comparison of measured and calculated pressure differences across the outside wall of the Canadian Fire Research Tower for different outside temperatures (adapted from Tamura and Klotz [1988]).

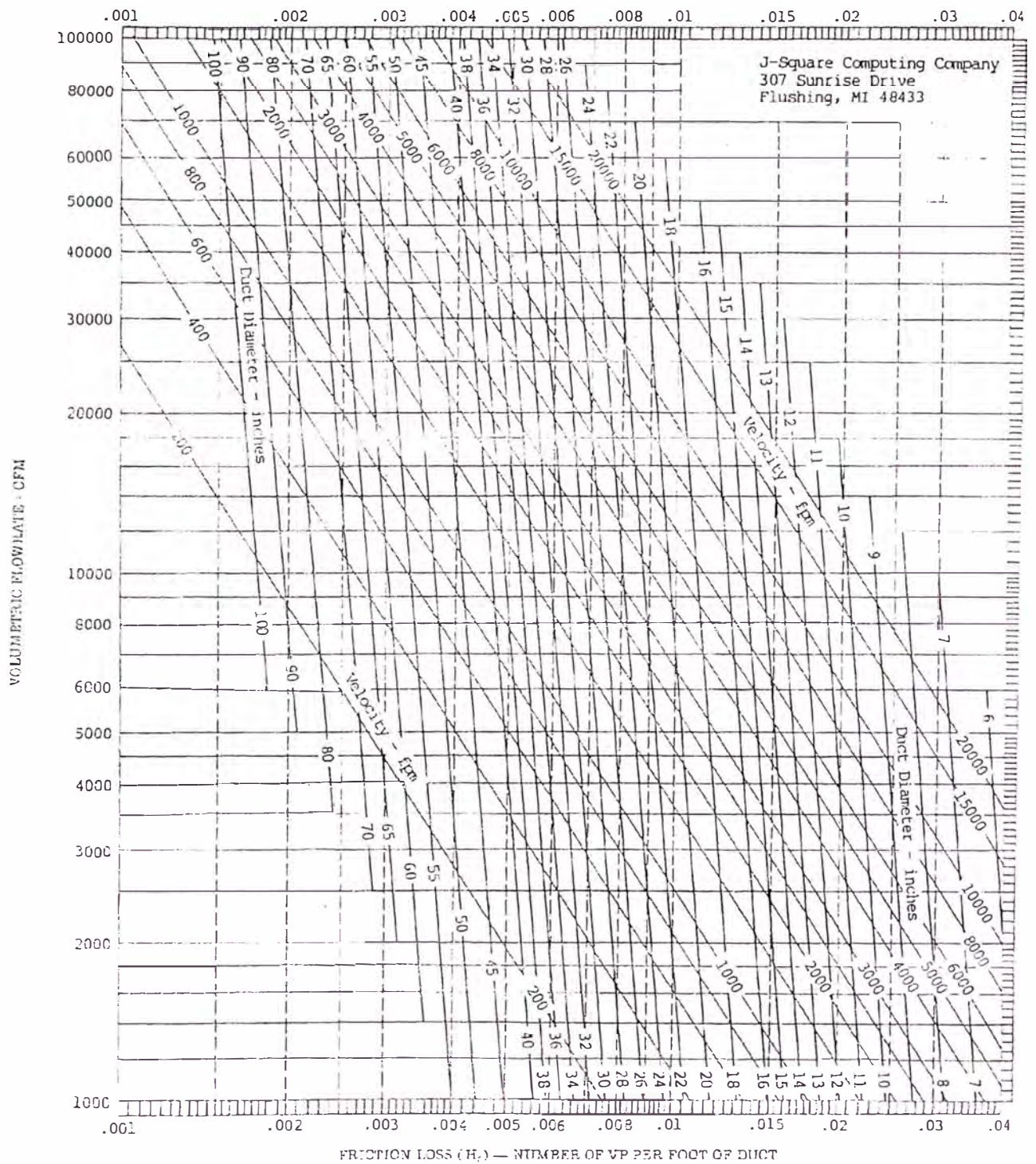


Comparison of measured and calculated pressure differences across a shaft enclosure of the Canadian Fire Research Tower for different building leakages (adapted from Tamura and Klotz [1988]).



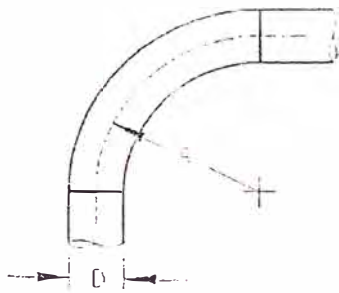
Based on Standard Air of 0.075 lb ft⁻³ density flowing through clean, round, galvanized metal ducts (equivalent sand grain roughness = 0.0005 ft).^(5, 5)

$$H_f = 0.0307 \frac{V^{0.533}}{Q^{0.672}} = \frac{0.4937}{Q^{0.079} D^{1.066}}$$



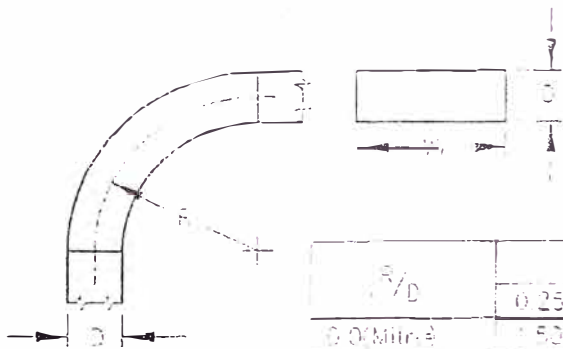
Based on Standard Air of 0.075 lb/ft³ density flowing through clean, round, galvanized metal ducts (equivalent sand grain roughness = 0.0005 ft).^(5.3)

$$H_f = 0.0307 \frac{V^{0.533}}{D^{0.612}} = \frac{0.4937}{Q^{0.079} D^{1.066}}$$



R/D	Loss Fraction of V^2
2.75	0.25
2.50	0.26
2.25	0.27
2.00	0.27
1.75	0.28
1.50	0.28
1.25	0.29

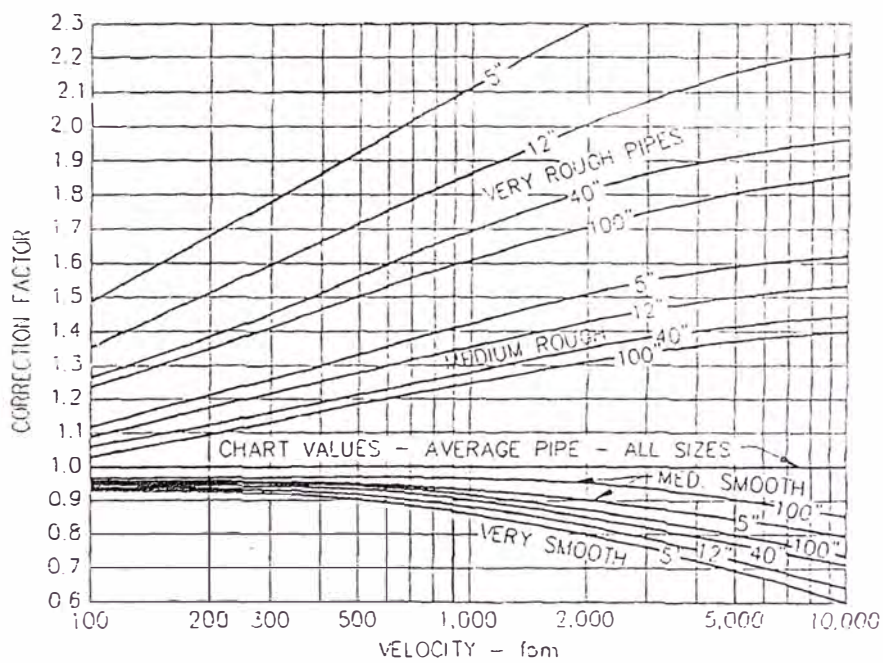
SQUARE ELBOWS



R/D	Aspect Ratio, w/D					
	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
0.0 (Mitred)	1.50	1.32	1.15	1.04	0.92	0.85
0.5	0.58	1.21	1.05	0.97	0.84	0.79
1.0	0.45	0.98	0.87	0.82	0.70	0.69
1.5	0.29	0.78	0.73	0.71	0.62	0.62
2.0	0.24	0.65	0.61	0.61	0.54	0.54
2.5	0.24	0.55	0.51	0.51	0.46	0.46

SQUARE & RECTANGULAR ELBOWS

ELBOW LOSSES



CORRECTIONS FOR NON-STANDARD MATERIALS.

From Chapter 41, Heating, Ventilating, Air Conditioning Guide, 1947. Used by Permission
MADISON AND ELLIOTT (Ref. 5.8)

ANEXO C
CÁLCULOS COMPLEMENTARIOS

CALCULO DE LA PRESIÓN ESTÁTICA DEL VENTILADOR CENTRÍFUGO

En la sección 7.3 se cálculo el caudal necesario para la presurización de la escalera del edificio Torre Central del Centro Comercial Camino Real. Ahora, para poder seleccionar un ventilador se necesita, además del caudal de aire, la presión estática que va a suministrar este ventilador a la salida, que será necesaria para vencer las resistencias producto de los ductos y accesorios tanto en la succión como en la descarga que conforman la totalidad del sistema, y así poder suministrar el caudal que se requiere. El cálculo de este parámetro se realizará en este anexo.

La presión estática de un ventilador centrífugo, FSP, se define como:

$$FSP = SP_{salida} - SP_{ingreso} - VP_{ingreso}$$

donde:

FSP	Presión estática del ventilador
SP_{salida}	Presión estática de salida al ventilador
$SP_{ingreso}$	Presión estática de ingreso al ventilador
$VP_{ingreso}$	Presión de velocidad de ingreso al ventilador

Como el ventilador toma aire directamente de la atmósfera, o sea que no existe ducto o algún elemento en la succión, tanto $SP_{ingreso}$ como $VP_{ingreso}$ toman valores de cero.

Por lo tanto, $FSP = SP_{salida}$, que significa que la presión estática del ventilador será numéricamente igual a la suma de las resistencias ofrecidas en el lado de descarga. Por lo tanto, procederemos a calcular la caída de presión a lo largo de sistema de ductos que inyecta aire a la escalera presurizada, por el método de

presión de velocidad, descrito en el manual INDUSTRIAL VENTILATION de la American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc.

Para el estudio, dividimos por tramos los ductos de presurización, donde uno de estos tramos será el ducto metálico ubicado en la azotea. Los tramos siguientes corresponderán al ducto de concreto que va a través de todo el edificio. Para el estudio, estos se dividirán por tramos correspondientes a cada piso.

Realizaremos el cálculo para el ducto metálico, y de similar manera se encontrarán las pérdidas de presión en los demás tramos.

Por comodidad para aplicar las tablas y formulas, se utilizarán las unidades inglesas.

Primer Tramo – Ducto metálico

Caudal	20,741 CFM
Dimensión del ducto	1.4m x 0.70 m
Diámetro Equivalente	3.50 pies
Área	10.55 pies ²
Velocidad	1,966 pies/min
Presión de Velocidad	0.241" C.A.
Longitud recta del ducto	21.98 pies

Con estos datos, hallamos el factor de fricción con la siguiente formula que corresponde para un ducto fabricado en plancha galvanizada.

$$H_f = 0.0307 \frac{V^{0.533}}{Q^{0.612}}$$

Por lo tanto, el factor de fricción es $H_f = 0.003988$

Entonces la pérdida o caída de presión estática generada por el ducto recto lo hallamos multiplicando este factor de fricción por la presión de velocidad y por la longitud del ducto recto, que nos resulta:

$$SP_{\text{ducto recto}} = 0.021" \text{ C.A.}$$

Ahora hallamos la pérdida de presión generada por el codo en 90° existente.

Según la figura mostrada en el anexo B, la pérdida de presión por la presión de velocidad es de 0.75. Por lo tanto, la pérdida o caída de presión en el codo lo hallamos multiplicando este último valor con la presión de velocidad, que nos resulta:

$$SP_{\text{codo}} = 0.181" \text{ C.A.}$$

Como en este tramo no existe algún otro codo o derivación adicional, así como alguna descarga de aire, la pérdida o caída de presión estática será la suma de SP_{codo} y $SP_{\text{ducto recto}}$.

$$SP_{\text{tramo1}} = 0.202" \text{ C.A.}$$

De manera similar calculamos la pérdida de presión estática en los demás tramos, teniendo en consideración que en estos tramos siguientes el material del ducto cambia, así como la existencia de una descarga de aire en cada tramo.

También se debe considerar que la descarga de aire en cada rejilla no se realizará a presión atmosférica (presión manométrica 0), sino que será a la escalera la cual estará presurizada. Por lo tanto, se adicionará a la caída de presión estática en la rejilla esta presión adicional existente en el interior de la escalera tomando en consideración el nivel de ubicación de esta rejilla.

Según las hojas de cálculo mostradas, la presión estática total del ventilador será la suma de las presiones estáticas totales de cada tramo. Entonces:

$$FSP = 2.22" \text{ C.A.}$$

Entonces, para seleccionar el ventilador tenemos los siguientes parámetros:

$$\text{CAUDAL} = 20,741 \text{ CFM}$$

$$\text{PRESIÓN ESTÁTICA} = 2.22" \text{ C.A.}$$

PARAMETROS	Ducto	PISOS O NIVELES								
	Metalico	18	17	16	15	14	13	12	11	10
CAUDAL (CFM)	20741	20741	19588.72222	18436.44444	17284.16667	16131.88889	14979.61111	13827.33333	12675.05556	11522.77778
DIAMETRO EQUIVALENTE pies	3.498564325	3.353834744	3.353834744	3.353834744	3.353834744	3.353834744	3.353834744	3.353834744	3.353834744	3.353834744
ÁREA pies ²	10.54863221	9.472241167	9.472241167	9.472241167	9.472241167	9.472241167	9.472241167	9.472241167	9.472241167	9.472241167
VELOCIDAD	1966.226482	2189.66131	2068.013459	1946.365609	1824.717758	1703.069908	1581.422057	1459.774207	1338.126356	1216.478505
PRESION VELOCIDAD (VP) in. w.g.	0.241024972	0.298915784	0.266625499	0.236180373	0.207580406	0.180825598	0.155915949	0.13285146	0.111632129	0.092257958
LONGITUD RECTA pies	21.9816273	10.49868766	10.49868766	10.49868766	10.49868766	10.49868766	10.49868766	10.49868766	10.49868766	10.49868766
FACTOR DE FRICCION	0.003987909	0.004223374	0.004242488	0.004262855	0.004284645	0.004308062	0.004333357	0.004360846	0.004390925	0.004424111
FACTOR POR MATERIAL	1	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
PERDIDA DE FRICCION POR VP	0.087660738	0.05985884	0.060129745	0.060418418	0.060727251	0.061059144	0.061417665	0.061807263	0.062233583	0.06270394
CODOS 90°	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
PERDIDA POR VP POR CODO	0.75	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0
DESVIOS Y TRANCISIONES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PERDIDA POR VP POR DESVIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUMA DE PERDIDAS POR VP	0.837660738	1.25985884	0.060129745	0.060418418	0.060727251	0.061059144	0.061417665	0.061807263	0.062233583	0.06270394
PERDIDA EN DUCTO (IN. W.G.)	0.201897156	0.376591693	0.016032123	0.014269644	0.012605787	0.011041056	0.009575994	0.008211185	0.006947267	0.005784937
PERDIDA EN REJILLA (IN W.G.)	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
P ESTATICA ADICIONAL POR PRESURIZ.	0	0.051268607	0.055183396	0.059098184	0.063012973	0.066927761	0.07084255	0.074757338	0.078672127	0.082586915
PRESION ESTATICA TOTAL (in w.g.)	0.201897156	0.4478603	0.091215519	0.093367828	0.09561876	0.097968817	0.100418543	0.102968523	0.105619394	0.108371852

PARAMETROS	PISOS O NIVELES								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1
CAUDAL (CFM)	10370.5	9218.222222	8065.9444	6913.6667	5761.3889	4609.1111	3456.8333	2304.5556	1152.2778
DIAMETRO EQUIVALENTE pies	3.353834744	3.353834744	3.3538347	3.3538347	3.3538347	3.3538347	3.3538347	3.3538347	3.3538347
ÁREA pies ²	9.472241167	9.472241167	9.4722412	9.4722412	9.4722412	9.4722412	9.4722412	9.4722412	9.4722412
VELOCIDAD	1094.830655	973.1828044	851.53495	729.8871	608.23925	486.5914	364.94355	243.2957	121.64785
PRESION VELOCIDAD (VP) in. w.g.	0.074728946	0.059045093	0.0452064	0.0332129	0.0230645	0.0147613	0.0083032	0.0036903	0.0009226
LONGITUD RECTA pies	10.49868766	10.49868766	10.498688	10.498688	10.498688	10.498688	10.498688	10.498688	10.498688
FACTOR DE FRICCION	0.004461089	0.004502793	0.0045505	0.0046063	0.0046731	0.0047562	0.0048656	0.0050239	0.0053067
FACTOR POR MATERIAL	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
PERDIDA DE FRICCION POR VP	0.063228033	0.063819106	0.0644959	0.0652861	0.0662333	0.0674112	0.0689608	0.0712055	0.0752133
CODOS 90°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PERDIDA POR VP POR CODO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DESVIOS Y TRANCISIONES	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PERDIDA POR VP POR DESVIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUMA DE PERDIDAS POR VP	0.063228033	0.063819106	0.0644959	0.0652861	0.0662333	0.0674112	0.0689608	0.0712055	0.0752133
PERDIDA EN DUCTO (IN. W.G.)	0.004724964	0.003768205	0.0029156	0.0021683	0.0015276	0.0009951	0.0005726	0.0002628	6.939E-05
PERDIDA EN REJILLA (IN W.G.)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
P ESTATICA ADICIONAL POR PRESURIZ.	0.086501704	0.090416492	0.0943313	0.0982461	0.1021609	0.1060756	0	0	0
PRESION ESTATICA TOTAL (in w.g.)	0.111226668	0.114184697	0.1172469	0.1204144	0.1236885	0.1270707	0.0205726	0.0202628	0.0200694

ANEXO D
CATALOGOS

VENTILADOR CENTRÍFUGO

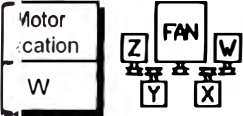
Centrifugal

MARK: UNI-FIM

ENGINEERING DATA

Appro. Fan Weight (lb.)	Class	Max. T Motor Frame Size	WR ² (lb.-ft. ²)
662	I	286	80

Weight does NOT include motor, drives, or accessories.



Drive Type
Constant

AFDW Series 21 Airfoil Double Width

STANDARD CONSTRUCTION FEATURES

HOUSING: Series 21 class I and II fans feature Perma-Lock construction on sizes 18-49 and continuously welded steel housing on sizes 54-73 and all class III fans • Unpunched outlet flange standard on class I and II sizes 33-73, all class III fans, and all downblast fans (DB) All structural parts phosphatized and coated with Permatector

BEARINGS, SHAFT, AND WHEEL: Heavy duty, self-aligning ball or roller pillow block bearings • Polished, solid steel shafts • Fully welded centrifugal wheel

CONFIGURATION

Arrangement	Rotation	Discharge Position	Material Type
3	CW	TH	Steel

Structural or Inertia Base, required for this arrangement.

SELECTED OPTIONS & ACCESSORIES

Energy Efficient Motor meets EPACT and NEMA 1210

INSTALLATION

Set Conditions	Outlet Conditions
Standard	Standard

MOTOR SPECS

Size (hp.)	RPM	VIC/P	Enclosure	Motor Frame Size
15	1725	460/60/3	ODP	254

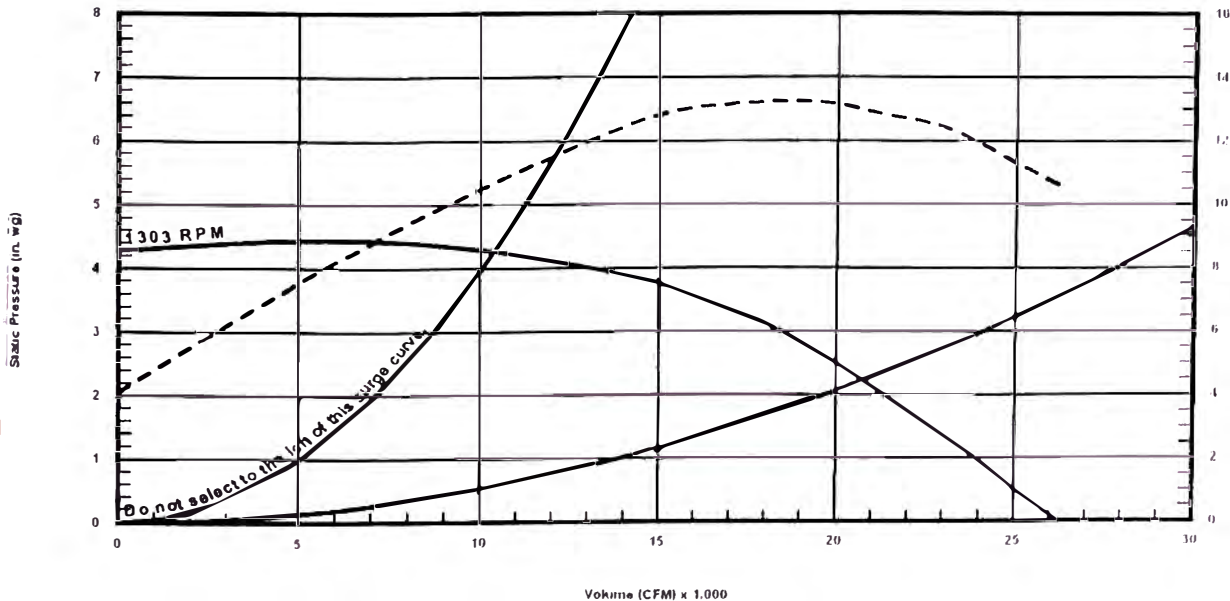
PERFORMANCE (Elevation ft. = 0, Airstream Temperature °F = 70, Start Up Temperature °F = 70)

Qty	Model	Volume (CFM)	SP (in. wg)	CSP (in. wg)	TS (ft./min)	OV (ft./min)	FRPM	Max Class FRPM	Operating Power (hp.)	SE %	Drive Loss (%)
1	27-AFDW-21	20.741	2.22	2.22	9.210.0	2.751.0	1,303	1,525	12.96	58	3

SOUND

33	Inlet / Outlet Sound Power by Octave Band								LwA	dBA	Noise Criteria
	125	250	500	1000	2000	4000	8000				
101	94	99	90	88	87	78	73	94	83	77	78
	96	95	89	87	85	76	71	92	81		

LwA - A weighted sound power level, based on ANSI S1.4. dBA - A weighted sound pressure level, based on 11.5 dB attenuation per octave band at 5.0 ft. Noise Criteria (NC) based on an average attenuation of 11.5 dB per octave band at 5.0 ft.



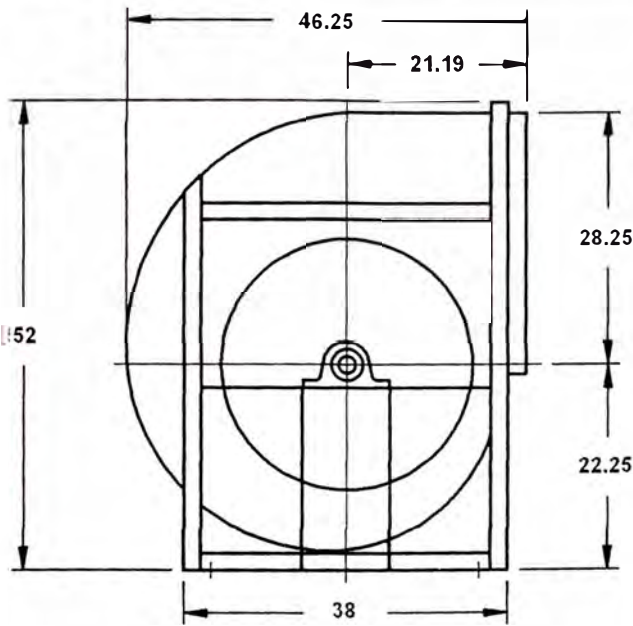
Centrifugal

MARK: UNI-FIM

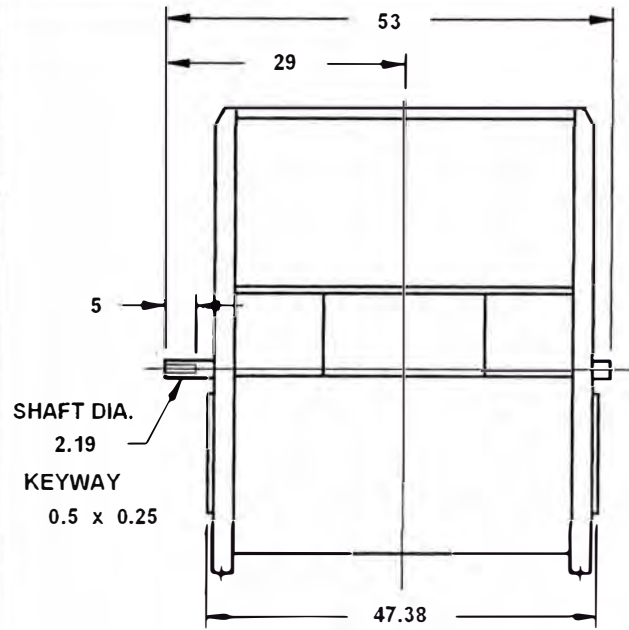
Size: 27
Arrangement: 3
Class: 1

AFDW-21 Series 21 Airfoil Double Width

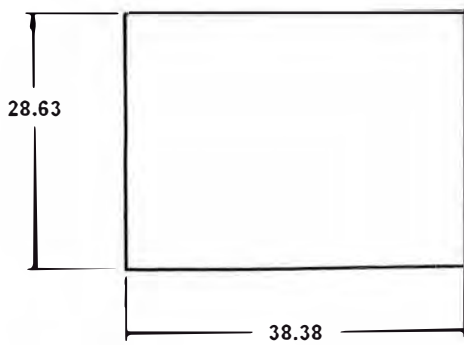
NOTES: All dimensions shown are in units of inches.



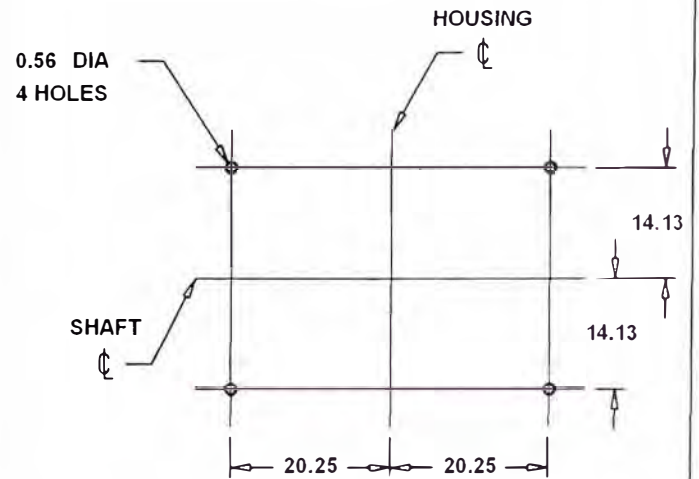
SIDE VIEW



END VIEW



OUTLET



FOOTPRINT

VARIADOR DE VELOCIDAD

NXS Variable Frequency Drives



Variable Frequency Drives (VFD) accept a control input and then output tailored control signal(s) to operate as many as six devices (fans, pumps, etc.) with maximum efficiency. The VFD can be field-programmed without any extra devices or computer connections.

SPECIFICATIONS

Wiring:

- Wire Type and Size is Model and Application Dependant.
- For NXS details, see form 63-2600.

Power Supply:

- 208-240 Vac, 45-66 Hz, +10%, -15%.
- 380-500 Vac, 45-66 Hz, +10%, -15%.
- 525-690 Vac, 45-66 Hz, +10%, -15%.

Ambient Ratings:

- Temperature Ranges:
 - Operating: 14°F to 104°F (-10°C to 40°C).
 - Storage: -40°F to 140°F (-40°C to 60°C).
- Humidity Range: 5 to 95% RH (non-condensing).

Control Inputs:

- Voltage (Analog): 0-10 Vdc, 200k ohm differential.
 - Resolution: 0.1%, ±1% accuracy.
- Current (Analog): 4-20 mA, 250 ohm differential.
- Digital: up to six, 24 Vdc, positive or negative logic.

Control Output:

- Reference Voltage: 10V, +3%; maximum load 10 mA.
- Auxiliary Voltage: 24V, ±15%; maximum 250 mA.
- Current (Analog): 0-20 mA, 500 ohm maximum.
 - Resolution: 10 bit.
 - Accuracy: ±2%.
- Relay: Two programmable changeover relay outputs.
 - Switching Capacity: 24 Vdc, 8A; 250 Vac, 8A; 125 Vdc, 0.4A.
- Digital: Open collector output, 50 mA, 48V.

Motor Connection:

- Continuous Output Overload Current:
 - Low: Maximum ambient temperature: 104°F (40°C); 1.1 x I_L (low overload current).
 - High: Maximum ambient temperature: 122°F (50°C); 1.5 x I_H (high overload current).
- Starting Torque:
 - Low Overload: 150%.
 - High Overload: 200%.
- Starting Current: 2.0 x I_H 2 seconds every 20 seconds if output frequency is less than 30 Hz and temperature of heatsink is less than 140°F (up to 400k W).
- Frequency:
 - Range: 0-320 Hz.
 - Resolution: 0.01 Hz.

Switching Frequency Range:

- Up to and including 40 HP: 1 to 16 KHz (default: 10 kHz).
- 50 HP and higher: 1 to 10 KHz (default: 3.6 kHz).

SPECIFICATION DATA

FEATURES

- Seven configurable applications built in.
- Easy commissioning through software or control panel
- Devices can be wall-mounted or panel-mounted.
- Eleven protective functions (see Form 63-2600, Users Manual, Technical Data section).
- Compact Size.
- Insulated gate bi-polar transistor (IGBT) technology.

Mounting:

- Mount vertically on a wall or other flat surface using four screws or bolts sized for the particular unit.

Approvals (Model Dependant):

- NEMA1.
- NEMA12.
- Underwriters Laboratories, Inc. (UL)
- Canadian Underwriters Laboratories, Inc. (CUL).
- CE.

Accessories:

- 32006627-001 RFI Filter for NXL units up to 3HP, 460V.
- 32006628-001 Panel Mount Kit, NEMA12, 6 ft.
- 32006629-001 Blank Display.
- 32006629-002 Alphanumeric Display.
- 32006629-003 Seven-Segment Display for NXL.
- 32006630-001 Lonbus Card.
- 32006630-002 Modbus Card.
- 32006630-003 I/O Expander Card, 2RO (NO/NC).
- 32006630-004 I/O Expander Card, 6DI/DO Programmable
- 32006630-005 I/O Expander Card, 6DI, 1DO, 2AI, 1AO.
- 32006630-006 I/O Expander Card, 1RO (NO/NC), 1RO (NO).
- 32006630-007 I/O Expander Card, 3RO (NO/NC), 1RO (NO).
- 32006630-008 I/O Expander Card, 1AI (mA), 2AO (mA)
- 32006662-001 NXL Demo Case.
- 32006662-002 NXS Demo Case.
- 32006803-001 Control Module, NXS.
- 32006803-002 Fan Assembly, up to 7.5HP.
- 32006803-003 Fan Assembly, 10-20HP.
- 32006803-004 Fan Assembly, 25-40HP.
- 32006803-005 Fan Assembly, 50-75HP.
- 32006803-006 Fan Assembly, 100-150HP.
- 32006803-007 Power Module, 1.5HP, 460V.
- 32006803-008 Power Module, 2HP, 460V.
- 32006803-009 Power Module, 3HP, 460V.
- 32006803-010 Power Module, 4HP, 460V.
- 32006803-011 Power Module, 5HP, 460V.
- 32006803-012 Power Module, 7.5HP, 460V.
- 32006803-013 Power Module, 10HP, 460V.
- 32006803-014 Power Module, 15HP, 460V.
- 32006803-015 Power Module, 20HP, 460V.



Electrical Connections

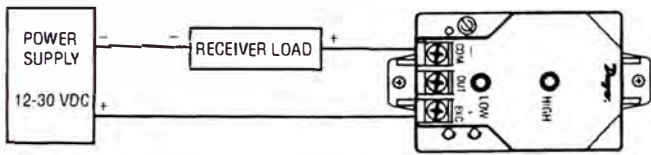
The Series 668 Differential Pressure Transmitter is a loop-powered 4 to 20 mA current output unit. The current flows into +EXC. terminal and returns back to the power supply through the -EXC. terminal. The power supply must be a DC voltage source with a voltage range between 12 and 30 VDC measured between terminal +EXC. and -EXC.

The unit is calibrated at the factory using a 250 ohm load at 28 VDC.

Notes:

Minimum Supply Voltage (VDC) = $12 + 0.02 \times (\text{resistance of receiver plus line})$

Maximum Supply Voltage (VDC) = $30 + 0.004 \times (\text{resistance of receiver plus line})$



Calibration

The 668 series is factory calibrated and should require no field adjustment. However, both zero and span adjustments are provided. Whenever possible, any zero and/or span offsets should be corrected by software adjustment in the user's control system. Use the zero and span adjustments on the 668 Series only if absolutely necessary. The 668 series is calibrated in the vertical position at the factory. For use in other orientations, position the unit and follow the zero adjustment procedure listed below. Pressure ranges are fixed and cannot be changed in the field.

Zero Adjustment

While monitoring the current output with both pressure ports open to atmosphere, the zero may be adjusted. For unidirectional pressure ranges, turn the zero adjustment screw until a reading of 4 mA (± 0.15 mA) is achieved.

202 Span Adjustment (Complete the zero adjustment before setting span)

Span on full scale output adjustments should only be performed by using an accurate pressure standard (electronic manometer, digital pressure gage, etc.) with at least comparable accuracy to the 668 series ($< \pm 1\%$ full scale). With full scale pressure applied to the high pressure port (reference port open to atmosphere) adjust span to achieve 20 mA output.

Example 1: Unidirectional pressure range of 0 to 1" W.C.
Apply 1.00" W.C., adjust span to 20 mA.

Notes: The input is reverse-voltage protected. The output is internally protected against damage if shorted to ground. Recheck all connections before applying power.

Maintenance/Repair

After final installation of the Series 668 Differential Pressure Transmitter, no routine maintenance is required. A periodic check of system calibration is recommended. These devices are not field repairable and should be returned to the factory if recalibration or other service is required. After first obtaining a Returned Goods Authorization (RGA) number, send the material, freight prepaid, to the following address. Please include a clear description of the problem plus any application information available.

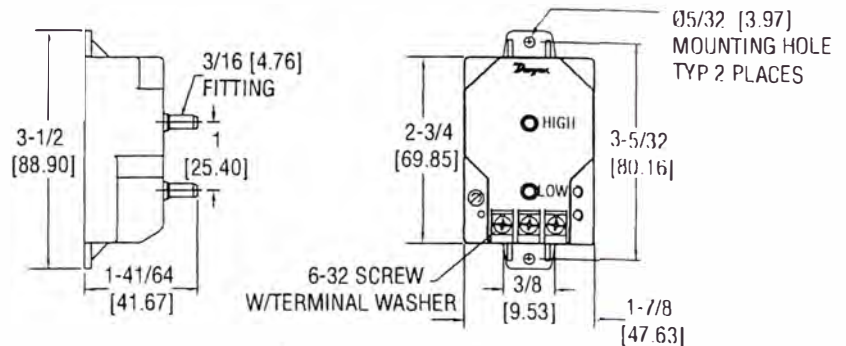
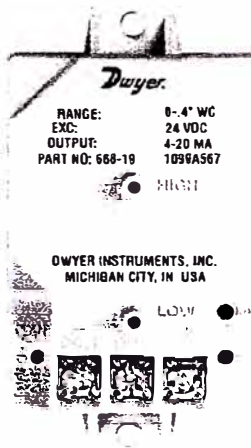
Dwyer Instruments, Inc.
Attn: Repair Department
102 Highway 212
Michigan City, IN 46360

TRANSMISOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL



SERIES 668 DIFFERENTIAL PRESSURE TRANSMITTER

Specifications— Installation and Operating Instructions



Description

Our low cost Series 668 Differential Pressure Transmitter is capable of measuring low pressures with a $\pm 1\%$ accuracy—ideally suited for proper building pressurization and air flow control. Transmitters can withstand up to 10 psig overpressure with no damage to the unit. Variable capacitance sensor design provides excellent sensitivity and long-term stability. Compact, lightweight design makes installation simple and easy. Units also feature reverse-polarity protection.

Installation

Mounting: The 668 Series is designed for mounting in either a switch box or by using the two (2) holes that are provided on the housing. Optimum performance is obtained by isolating the instrument from vibration and providing relatively clean, dry ambient air to the pressure ports. In most cases, preferred installation is with the baseplate mounted vertically and located on a relatively flat surface in a junction box or attached to a nearby beam.

Caution: The axis most sensitive to vibration is the one perpendicular to the mounting base. Avoid mounting with maximum vibration along this axis.

Pressure Fitting: Two (2) $\frac{3}{16}$ " O.D. pressure fittings are supplied for pressure connection with $\frac{1}{4}$ " push-on tubing. Both the positive (high) pressure port and the reference (low) pressure port are located on the top face of the unit, labeled High and Low respectively. For best results (shortest response times), $\frac{3}{16}$ " I.D. tubing is suggested for tubing lengths up to 100 feet long, $\frac{1}{4}$ " I.D. for tubing lengths up to 300 feet, and $\frac{3}{8}$ " I.D. for tubing lengths up to 900 feet.

PHYSICAL DATA

Service: Air and non-conductive gases.

Accuracy: $\pm 1\%$ of full scale (RSS) (includes non-linearity, hysteresis, and non-repeatability).

Output: 4 to 20 mA, 2-wire.

Maximum Pressure: 10 psig (0.7 kg/cm²).

Loop Resistance: 0-800 ohms.

Supply Voltage: 12-30 VDC.

Zero and Span Adjust: ± 1 mA, non-interactive.

Compensated Temperature Range: 0 to 150°F (-18 to 65°C).

Thermal Effects: 0.033% FS/°F (0.018% FS/°C).

Temperature Limits:

Operating: 0 to 150°F (-18 to 65°C)

Storage: -40 to 185°F (-40 to 85°C).

Housing: Fire retardant glass filled polyester.

Electrical Connection: Terminal strip.

Pressure Connection: $\frac{3}{16}$ " O.D. fitting for $\frac{1}{4}$ " I.D. tubing.

Weight: 3 oz (85 g).

SERIES 668 TRANSMITTER MODELS & RANGES

Model Number	Range	Model Number	Range
668-1	0 to 0.25 in. w.c.	668-5	0 to 5.0 in. w.c.
668-2	0 to 0.5 in. w.c.	668-6	0 to 10 in. w.c.
668-3	0 to 1 in. w.c.	668-7	0 to 25 in. w.c.
668-4	0 to 2.5 in. w.c.	668-8	0 to 50 in. w.c.

* Also available with optional conduit cover. To order add "C" to part number, i.e. 668C-1. Consult factory for additional information.

DWYER INSTRUMENTS, INC.
P.O. BOX 373 • MICHIGAN CITY, INDIANA 46361, U.S.A.

Phone: 219/879-8000

Fax: 219/872-9057

Lit-By Fax: 888/891-4963

www.dwyer-inst.com

e-mail: info@dwyer-inst.com

ANEXO E
PRESUPUESTO REFERENCIAL

ITEM	DESCRIPCION	UND.	CANT	COSTO (US\$)	
				UNITARIO	TOTAL
1.0	Ventilador centrífugo de doble ancho y doble entrada, rotor de álabes aerodinámicos curvados hacia atrás (air foil), con una capacidad de 20,741 CFM y una presión estática en la descarga de 2.5 pulgadas de columna de agua, accionado por motor eléctrico de 15HP, 220V, 60Hz, 3ph, con transmisión por fajas y poleas.	PZA.	01	2,500.00	2.500.00
2.0	Variador de velocidad para comandar motor de 15HP a 220V/3ph/60Hz, marca HONEYWELL.	PZA.	01	1,890.00	1.890.00
3.0	Transmisor de presión diferencial con un rango de 0 a 0.25 pulgadas de columna de agua, marca DWYER, modelo 668-1 con salida de 4 a 20 mA.	PZA.	01	200.00	200.00
4.0	Rejillas de descarga de aire con damper, con protección anticorrosiva y acabado de esmalte sintético, de plancha galvanizada de 1.0mm de espesor. 350mm x 350mm	PZA.	18	30.00	540.00
5.0	Fabricación, transporte y montaje de ductos de plancha de fierro galvanizada de 1/27" de espesor, en las dimensiones indicadas en los planos.	kg.	290	2.60	754.00
6.0	Transporte, izaje y montaje del ventilador centrífugo, incluyendo base soporte estructural de ángulo de fierro soldado y pintado.	UN	01	490.00	490.00
7.0	Tablero eléctrico de transferencia automática con gabinete tipo auto soportado con módulo de transferencia, para una capacidad de 15HP, 220V, 60Hz, 3ph, módulo electrónico para toma de señales y accesorios de protección y control.	PZA.	01	1,990.00	1.990.00
8.0	Acometida eléctrica de control con cable apantallado con aislante de poliuretano según especificación técnica	m.	60	3.50	210.00
9.0	Interruptor horario de 24 horas, tipo electrónico con display de cristal líquido.	PZA.	01	75.00	75.00
10.0	Interruptor termomagnético de 3x60A, con caja protectora de fierro galvanizado, capacidad de ruptura 25KA en 220V.	PZA.	01	110.00	110.00

ITEM	DESCRIPCION	UND.	CANT	COSTO (US\$)	
				UNITARIO	TOTAL
11.0	Conexión eléctrico de fuerza y control, montaje del variador de frecuencia en tablero metálico, con interruptor termomagnético de 3 x 60A y temporizador de 24 horas.	GBL			280.00
12.0	Realización de pruebas individuales y de todo el conjunto, regulación del sistema y puesta en operación.	GBL			200.00
SUB TOTAL				US\$	9,239.00
IMPUESTO GENERAL A LAS VENTAS (19%)				US\$	1,755.41
TOTAL GENERAL				US\$	10,994.41