

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE AIRE PARA  
PRESURIZACIÓN DE ESCALERAS DE EMERGENCIA DE UN EDIFICIO  
RESIDENCIAL DE ONCE PISOS**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**CRUZ OJEDA, LUIS ANTONIO ROLANDO**

**Chiclayo, 11 de Diciembre del 2017**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE AIRE PARA  
PRESURIZACIÓN DE ESCALERAS DE EMERGENCIA DE  
UN EDIFICIO RESIDENCIAL DE ONCE PISOS**

PRESENTADA POR:

**CRUZ OJEDA, LUIS ANTONIO ROLANDO**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de:  
**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

APROBADA POR:

---

Ing. Mundaca Guerra, Hugo  
PRESIDENTE

---

Ing. Gonzáles Bazán, Luis  
SECRETARIO

---

Ing. Querevalú Morante, Alexander  
VOCAL

## DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada a Dios por guiar mi camino y haberme acompañado espiritualmente desde el comienzo de mi vida universitaria.

A mis padres Laura y Luis, mis abuelos Yalú y Pedro, y a mis tíos Pedro y Fernando por ser los pilares de mi desarrollo personal, por su entrega total para con mi formación intelectual, y por brindarme todas las facilidades que un estudiante necesita.

A los catedráticos encargados de mi formación, por sus enseñanzas brindadas en aulas, porque no solo fueron docentes, sino también amigos.

## ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	
1.1. Situación problemática	12
1.2. Formulación del problema	13
1.3. Objetivos	14
1.4. Justificación	14
1.5. Hipótesis	15
II. MARCO TEÓRICO	
2.1. Estado del arte	
2.1.1. Generalidades	16
2.1.2. Antecedentes	16
2.1.3. Normativa vigente	20
2.2. Bases teórico científicas	
2.2.1. Naturaleza del fuego	23
2.2.2. Escaleras de emergencia	24
2.2.3. Propagación y control del humo	32
2.2.4. Métodos para controlar el movimiento del humo	38
2.2.5. Sistemas de presurización de la escalera de emergencia	42
2.2.6. Componentes del sistema de presurización de escaleras	45
2.2.7. Sistemas de ventilación	49
2.2.8. Ventiladores	52
2.2.9. Variador de velocidad	68
2.2.10. Sensor de humo	71
2.2.11. Sensor térmico	75
2.2.12. Sensor de presión diferencial	88
III. DISEÑO	
3.1. Definición de características	92
3.2. Diseño del sistema	95
3.3. Memoria de cálculo	97

3.4. Especificaciones técnicas	100
3.5. Selección de equipos	106
3.6. Costos de implementación del sistema de presurización de escaleras	111
3.7. Recupero de la inversión	112
IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	113
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	114
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
ANEXOS	120

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Escalera integrada	26
Figura 2	Escaleras de evacuación con vestíbulo previo ventilado	27
Figura 3	Escalera de evacuación presurizada	27
Figura 4	Escalera de evacuación abierta	28
Figura 5	Escalera de evacuación cerrada	28
Figura 6	Escalera continua	29
Figura 7	Espacios entre cerramientos	30
Figura 8	Cerramientos y puerta cortafuego	31
Figura 9	Consideraciones sobre escaleras	31
Figura 10	Efecto chimenea (stack effect)	32
Figura 11	Diferencial de presión por acción y efecto chimenea	33
Figura 12	Flotabilidad del humo	35
Figura 13	Acción del efecto chimenea con nivel de presión neutra en la mitad del edificio	37
Figura 14	Muros y pisos unidos conforman la zona protegida	39
Figura 15	Sobrepresión interna en escaleras	41
Figura 16	Diagrama de fuerzas	43
Figura 17	Ventilación natural	49
Figura 18	Ventilación por inyección de aire	51
Figura 19	Ventilación por extracción de aire	52
Figura 20	Clasificación general de las máquinas	53
Figura 21	Impulsor	54
Figura 22	Extractor	54
Figura 23	Axial mural	54
Figura 24	Ventilador centrífugo	55
Figura 25	Hélice axial. De perfil delgado	55
Figura 26	Hélice axial. De perfil sustentador	56
Figura 27	Centrífugo. Baja presión	56

Figura 28	Centrífugo. Media presión	56
Figura 29	Centrífugo. Alta presión	57
Figura 30	Regulador electrónico de velocidad	58
Figura 31	Compuerta de aletas radiales a la admisión	58
Figura 32	Hélice axial de alabes con inclinación variable	59
Figura 33	Curva característica de los ventiladores	60
Figura 34	Curvas características del ventilador centrífugo	63
Figura 35	Curva del sistema	64
Figura 36	Curvas del sistema para diferentes posiciones de las compuertas	65
Figura 37	Requerimientos de potencia con compuerta a la descarga	65
Figura 38	Curvas del ventilador para diferentes posiciones de las aletas	66
Figura 39	Curvas del ventilador accionado por un variador de velocidad	67
Figura 40	Requerimientos de potencia con variador de velocidad	67
Figura 41	Comparación de potencia entre los tres métodos	68
Figura 42	Variador de velocidad	69
Figura 43	Esquema del variador de frecuencias	70
Figura 44	Detector por ionización	71
Figura 45	Detector por dispersión de luz	72
Figura 46	Detector por dispersión de luz, con humo	72
Figura 47	Detector por oscurecimiento	73
Figura 48	Detector por oscurecimiento, con humo	73
Figura 49	Detector térmico de temperatura fija con ampolla de cuarzo	77
Figura 50	Detector térmico de temperatura con lámina	77
Figura 51	Detector térmico de temperatura fija con cable termosensible	79
Figura 52	Detector termovelocímetro aerotérmico de tubo y cámara	81
Figura 53	Detector termovelocímetro de tubo neumático	82
Figura 54	Detector térmico combinado	83
Figura 55	Detector térmico electrónico	84
Figura 56	Detector térmico compensado	85
Figura 57	Localización de detectores térmicos	88
Figura 58	Sensor de presión diferencial	89

Figura 59	Ubicación del sensor de presión diferencial	89
Figura 60	Fases de un proceso de automatización	91
Figura 61	Ejemplos gráficos de los requisitos del sistema Clase C	94
Figura 62	Recorrido de ductos de inyección a caja de escalera	99
Figura 63	Esquema general de conexionado del variador MX2 OMROM	108
Figura 64	Detector de humo	113
Figura 65	Detector de humo en un sistema de presurización	114

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tipos de escaleras	29
Tabla 2	Leyes de los ventiladores	62
Tabla 3	Parámetros de ajuste (método de oscilación)	82
Tabla 4	Parámetros de ajuste (método curva de reacción)	83
Tabla 5	Clases de sistema de presurización	92
Tabla 6	Presiones diferenciales mínimas para los sistemas de clase C	95
Tabla 7	Características técnicas del ventilador centrífugo	106
Tabla 8	Características técnicas del ventilador centrífugo	106
Tabla 9	Especificaciones técnicas de los variadores de velocidad MX2	107
Tabla 10	Especificaciones técnicas del transmisor de presión	109
Tabla 11	Especificaciones técnicas del detector de humo	110
Tabla 12	Costos de implementación del sistema	111

## RESUMEN

Como resultado de esta investigación se concluye que con el sistema de presurización de escaleras de evacuación se podrá brindar protección y seguridad a las familias que habiten en edificios residenciales y una forma de evacuación segura al momento de ocurrir incendios. La finalidad del sistema de presurización es salvar vidas.

El diseño del sistema de presurización está desarrollado pensando en la eficiencia energética exigida en la actualidad, esto es, utilizar un motor eléctrico eficiente como fuente motriz del ventilador centrífugo y el de requerir la cantidad exacta de recursos técnicos para su fabricación y puesta en marcha. Además, en el diseño se ha tomado en cuenta las exigencias de la normativa UNE que se aplica en la Unión Europea y a la normativa del Reglamento de Edificaciones del Perú.

El diseño del sistema de inyección de aire consta de una parte mecánica (ventilador centrífugo), eléctrica (motor eléctrico trifásico), electrónica (variador de velocidad, transmisor de presión y detector de humo), con un lazo de control PID para mantener un valor fijo de la presión de consigna.

El costo de la implementación del sistema para la presurización de escalera de evacuación asciende a S/. 23 510,00 que incluye materiales, accesorios y mano de obra.

**Palabras clave:** Automatización, presurización, escaleras de emergencia,

## **ABSTRACT**

As a result of this research, it is concluded that with the evacuation ladder pressurization system, protection and safety can be provided to families living in residential buildings and a safe evacuation process at the time of fire. The purpose of the pressurizing system is to save lives.

The design of the pressurizing system is developed with the energy efficiency currently required, that is, to use an efficient electric motor as the centrifugal fan power source and to require the exact amount of technical resources for its manufacture and commissioning. In addition, the design has taken into account the requirements of the UNE regulation that is applied in the European Union and to the regulations of the Building Regulations of Peru.

The design of the air injection system consists of a mechanical part (centrifugal fan), electrical (three-phase electric motor), electronics (variable speed drive, pressure transmitter and smoke detector), with a PID control loop to maintain A fixed setpoint pressure value.

The cost of implementing the system for the pressurization of evacuation ladder amounts to S /. 23 510,00 which includes materials, accessories and labor.

**Keywords :** Automation, pressurisation, emergency stairs

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Situación problemática**

En la actualidad, se registra un alto índice de mortandad en incendios en edificios residencial a nivel mundial. En Europa, por ejemplo, cada año mueren alrededor de 4000 personas a causa de estos; en Perú en el año 2013, se registraron 103 muertos por incendio en un edificio residencial y en el año 2014, se aumentó a la cifra de 116 muertos, lo que vendría a ser un incremento del 11,5%. Desde el 1 de Diciembre del 2014 hasta el 15 de Enero del 2015, ya se habían registrado 32 muertes en este tipo de accidentes y mayormente por aparatos productores de calor, deficiencias del sistema eléctrico, un cigarro mal apagado o una explosión del balón de gas en la cocina.

En un incendio se producen humos que son la causa principal de las pérdidas humanas ocasionadas por dicho incendio, además, el humo que se mueve lo hace a altas temperaturas y lleva consigo combustibles inquemados (hollín, monóxido de carbono e hidrocarburos ligeros), además, de ascuas (fragmentos de materia incandescente). El humo se transforma en el principal medio por el cual el incendio se mueve y se extiende al resto de la instalación.

[1]

Tanto el movimiento de humo como de los gases de combustión dependen de una serie de condicionantes. Estos son, por una parte, los elementos constructivos y de compartimentación y, por otra, los fenómenos propios del fuego tales como incrementos de temperaturas y las diferencias de presiones.

[1]

Dentro de un edificio, el mayor peligro es la fácil propagación del humo por todo el espacio no compartimentado adecuadamente y, por tanto, por aquellos medios o vías de escape verticales de evacuación que deberían estar en condiciones de permitir la libre circulación de los ocupantes de dicho edificio.

[1]

La producción de humo en un incendio varía en función de la cantidad y tipo de elementos combustibles que existan en el interior del edificio afectado. Según sea el volumen de humos, éstos podrán llegar a disminuir la visibilidad, lo que puede producir problemas graves en cuanto a la evolución y extinción del incendio. El humo puede ser más o menos denso, pero, en cualquier caso, contendrá partículas tóxicas que pueden perjudicar a las personas. [1]

Muchas veces, las personas también mueren no en el lugar donde ocurrió el accidente, sino también porque no realizaron una adecuada evacuación del lugar o tuvieron problemas con el sistema de protección contra incendios que tienen.

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

El Reglamento Nacional de Edificaciones (cap. V, art. 67, secc. A y Norma A-010, cap. VI, Art. 26) exige la implementación de la vía de evacuación de un edificio en altura, llamada “Zona Vertical de Seguridad”. Esta vía permite a los usuarios el desplazamiento vertical desde cualquier nivel del edificio, protegidos en casos de incendios de los siguientes efectos: fuego, humo y gases.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo se diseña un sistema de inyección de aire para presurizar escaleras de emergencia de un edificio residencial con la finalidad de asegurar la evacuación e integridad de sus usuarios?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Diseñar un sistema de inyección de aire para presurización de escaleras de emergencia de un edificio residencial de once pisos.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Identificar los diversos tipos de escalera de emergencia en edificio residencial de once pisos.
- Diseñar el sistema de inyección de aire para presurización de escaleras de emergencia de un edificio residencial.
- Identificar y seleccionar los componentes del sistema de inyección de aire para presurización de escaleras de emergencia.
- Determinar los costos de la implementación del sistema de inyección de aire para presurización de escaleras de emergencia de un edificio residencial de once pisos.

### **1.4. Justificación**

El diseño del sistema de presurización para escaleras de emergencia aplicado a un edificio residencial, que se presenta en esta investigación, a diferencia de los comunes aspersores de agua tiene ciertas ventajas que podrían también mejorar la evacuación del lugar al momento de ocurrir un incendio.

Una de las ventajas que se puede mencionar es que a comparación con el sistema de aspersión, este no dificulta el tránsito ya que es una inyección de aire a presión para mantener el área segura, en cambio el otro moja todo el lugar y espacio, dificultando el descenso o escape de las personas al momento de realizar la evacuación, como también al mojarlas pueden llegar a estropear sus pertenencias como su ropa y accesorios eléctricos que tengan en ese momento ocasionándoles molestias aún mayores.

Además, la importancia de este trabajo de investigación recae en la finalidad del mismo que es la de brindar protección y seguridad a las familias que

habitan en edificios residenciales y una forma de evacuación segura al momento de ocurrir incendios, con lo que se logra salvar vidas.

El diseño del sistema de presurización se ha desarrollado pensando en la eficiencia energética exigida en la actualidad.

Se optimiza el consumo energético en el sistema de ventilación mediante la elección de equipos eficientes, y realizando un sistema de presurización eficaz y adaptado al espacio del edificio. [2]

También se tiene en cuenta para el diseño el aspecto económico. Una implementación de un sistema de este tipo, con la automatización y control del mismo, puede llegar a ser muy costoso. Este diseño propone un menor costo de implementación y utilización a comparación de sistemas de protección ya existentes de ese tipo. Se realiza la valoración de cada uno de los dispositivos adecuados para la presurización de escaleras.

El sistema de presurización propuesto consiste en un ventilador centrífugo accionado por un motor eléctrico eficiente y controlado por un variador de velocidad. El aire es distribuido a cada piso por una red de ductos. También se cuenta con válvula limitadora de presión, sensores de humo, sensores térmicos, alarmas manual y automática contra incendios, y sensor de presión diferencial, los cuales al presentar cierta variación de las medidas o valores estandarizados accionan el ventilador centrífugo mediante un lazo de control PID para mantener un régimen de trabajo, de acuerdo a los que se requiera teniendo en cuenta varios aspectos o situaciones que se podrían dar.

## **1.5. Hipótesis**

Si se diseña un sistema de inyección de aire para presurizar escaleras de emergencia de un edificio residencial se asegura la evacuación e integridad de sus usuarios.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Estado del arte

#### 2.1.1. Generalidades

El tema de investigación de esta tesis se refiere a los sistemas de inyección de aire para la presurización de escaleras.

Los sistemas de presurización de escaleras en una edificación deben cumplir los requisitos y exigencias establecidas en la normativa vigente, códigos de diseño, reglamentos, leyes, etc. En cualquier incendio la causa principal de muerte en esta situación es la inhalación de sustancias tóxicas y humo. [3]

Las Normas que se utilizan para diseñar estos sistemas proveen cálculos teóricos basados en conceptos de mecánica de fluidos y/o datos experimentales. No obstante, estos cálculos para el dimensionamiento del sistema deben ser después adaptados y/o corregidos para la situación particular, de modo de garantizar que el sistema resulte favorablemente operativo. Es decir, se debe garantizar que cuando el sistema se ponga en funcionamiento el humo no ingresará al recinto protegido (porque exista efectivamente la sobrepresión necesaria que impida que esto suceda) y por otra parte, que en todos los casos, las personas puedan acceder a ese recinto protegido (es decir, la sobrepresión generada no puede ser tan excesiva que impida o dificulte la apertura de las puertas por cualquier usuario).

#### 2.1.2. Antecedentes

Astorga [4] en la tesis **“Criterios de diseño de zonas verticales de seguridad contra incendio para edificios en altura”** de la Universidad de Chile, realiza un estudio acerca de los criterios de diseño de la principal vía de evacuación utilizada en edificios de altura

en caso de emergencias. Plantea como objetivo general: analizar los problemas actuales en el diseño de las vías de evacuación y generar soluciones o proposiciones para remediar las falencias encontradas, salvaguardando de esta manera la integridad de los usuarios ante un eventual incendio.

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

Concluye que es indiscutiblemente necesario crear instancias donde se analicen y estudien temas de seguridad frente a emergencias en edificios altos, sino incluso para generar profesionales capaces de analizar dichos temas, con sólidos conocimientos entregados durante su formación. Analizó diversas formas de controlar el movimiento de humo en el interior de un edificio e indica que no se cuenta con un documento técnico que especifique una metodología para construir sistemas de control de humo, como presurización.

Cárcamo [3] en la tesis **“Sistemas para el control de humo en edificios de hormigón armado”** de la Universidad Austral de Chile, presenta una visión de la normativa existente en cuanto al control de humos en situación de incendio, tanto chilena como extranjera. Además, presenta un ejemplo aplicado a un proyecto real de estas normas y comenta la necesidad de una normativa nacional que se pueda aplicar a un caso real como el antes mencionado, dando, además, recomendaciones del uso de las normativas extranjeras en reemplazo de las no existentes en Chile.

Asimismo, plantea discusiones sobre si es necesario o no el uso de aquellos sistemas a la hora de proteger un edificio y sus ocupantes en una situación de incendio.

Bonilla y Velarde [5] en la tesis **“Protección contra incendios en vías de evacuación mediante presurización en edificios y locales públicos en la ciudad de Quito”** de la escuela Politécnica Nacional de Quito, manifiestan que los edificios que se construyen en la ciudad de Quito deben poseer sistemas contra incendios, entre los más comunes se encuentran: gabinetes con extintores, agua a presión, alarmas, detectores de humo, rociadores, puertas contra fuego, entre otros. Establecen la importancia del control de humos dentro de un edificio y sobre todo a lo largo de las vías de evacuación, se detalla los métodos de evacuación de humo mediante ventilación, incluyendo la presurización. Asimismo, indican los requisitos y características de cada tipo de sistema de presurización para caja de escaleras, se detalla la metodología de diseño y los cálculos necesarios para seleccionar un ventilador adecuado.

Arenas [2] en la tesis **“Diseño del sistema de ventilación y protección contra incendios de un aparcamiento subterráneo”** de la Universidad Carlos III de Madrid, plantea como objetivo el diseño, dimensionado y cálculo de las instalaciones de ventilación y protección contra incendios de un aparcamiento subterráneo, determinando sus características constructivas y métodos de cálculo a utilizar, de acuerdo con la normativa vigente. Optimiza el consumo energético en el sistema de ventilación mediante la elección de equipos eficientes, y realizando un diseño de redes de extracción eficaz y adaptado al espacio del edificio. Además, tiene en cuenta para el diseño el aspecto económico, debido al alto costo que supone el material necesario para la instalación de las redes de conductos.

Concluye en que el sistema diseñado garantiza la correcta ventilación del aparcamiento en todo momento. La distribución de redes de extracción y el sistema de sobrepresión instalado en las escaleras ayuda a evacuar adecuadamente el humo lo más rápidamente posible

en caso de producirse un incendio; estando la instalación preparada en su totalidad para su visado y posterior puesta en servicio.

El aparcamiento objeto de la investigación, con las medidas propuestas, proporciona un nivel de protección contra incendios apropiado, de acuerdo con lo exigido por la normativa vigente. Se consigue una mejora del nivel de seguridad ante el fuego, determinando las vías de evacuación y los dispositivos de detección y protección contra incendios más adecuados.

Vargas [6] en la tesis “**Diseño del sistema de presurización y control para la escalera de escape del centro comercial Camino Real**” de la Universidad Nacional de Ingeniería (Lima, Perú), plantea como objetivo de investigación dar a conocer las pautas necesarias para el cálculo y la implementación de un sistema de presurización de escaleras.

Define la presurización, como la inyección mecánica de aire exterior a la caja de escaleras, logrando una presión positiva, que impide el ingreso de los productos de combustión dentro de las vías de escape, favoreciendo la evacuación e impidiendo o minimizando la propagación vertical del incendio.

Las pautas para cálculos establecidos en la investigación se basan en el Código Técnico de la Edificación, norma UNE-EN 12101-6:2006. Esta norma cubre la información y los requisitos para el diseño, métodos de cálculo y ensayo de los sistemas concebidos para limitar la propagación de humo mediante diferenciales de presión.

La normativa introduce sistemas de presurización en función del tipo de edificio, contemplando incluso la intervención de bomberos a través de las escaleras, con sistemas de cálculo que hacen complicada su interpretación.

### 2.1.3. Normativa vigente

La normativa vigente referente a la seguridad de las personas que habitan en edificaciones tiene por finalidad crear espacios adecuados para el desarrollo de las actividades humanas, buscando garantizar la salud, la integridad y la vida de las personas; así mismo, establece las condiciones que deben cumplir las estructuras y las instalaciones con la finalidad de reducir el impacto sobre las edificaciones y la infraestructura urbana, de los desastres naturales o los provocados por las personas.

Las normas más usadas e importantes sobre este tema son las europeas y de los Estados Unidos.

Entre las Europeas tenemos los documentos normativos **UNE** (acrónimo de **Una Norma Española**) son un conjunto de normas, normas experimentales e informes (estándares) creados en los Comités Técnicos de Normalización (CTN) de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Estas normas describen los sistemas de presión diferencial diseñados para retener el humo en barreras físicas no estancas al mismo en un edificio, por ejemplo, puertas (abiertas o cerradas), u otras aberturas parciales análogas. Cubren los métodos de cálculo de los parámetros de los sistemas de control de humo mediante diferenciales de presión, como parte del procedimiento de diseño. Proporcionan procedimientos de ensayo de los sistemas utilizados, y describe los elementos más relevantes y críticos de la instalación, así como los procedimientos de montaje necesarios para la aplicación práctica del diseño proyectado en un edificio. Describen los sistemas para protección de las áreas de evacuación de los ocupantes, tales como las cajas de escalera, pasillos y vestíbulos, así como los sistemas idóneos para establecer una cabeza de puente protegida, para actuación de los equipos de extinción de incendios. [3]

La Norma UNE-EN 12101:2013 “Sistemas para el control de humo y calor” establece clasificaciones de sistemas, según los requisitos técnicos y condiciones de diseño. Las condiciones de diseño se establecen de acuerdo a las diferentes clases para facilitar su aplicación a proyectos de presurización diferencial para cualquier tipo de edificio. Es la decisión de las autoridades competentes la que establece qué sistema considerar.

La Norma UNE 100.040: 2011 “Protección de las vías de evacuación mediante presurización de escaleras y ascensor” tiene por objetivo la protección de las vías de evacuación de los edificios mediante este método. Además, se trata de establecer un flujo de aire en el edificio, que existe que el fuego provocado por un incendio pueda entrar en una vía de evacuación. Un sistema de presurización adecuado debe ser capaz de establecer el número de puertas que pueden estar simultáneamente abiertas cuando el sistema de control de humo está operando, sin afectar el funcionamiento de este.

Los sistemas de presurización pueden diseñarse con diferentes medios de presurización:

- Con una sola etapa (emergencias) a 50Pa.
- Con 2 etapas. La primera de 15Pa de forma continua en el espacio presurizado y la segunda a 50Pa, durante las emergencias.
- Con modulación entre 15 y 50Pa, dependiendo del número de puertas abiertas simultáneamente.

En Estados Unidos tenemos las normas NFPA (*National Fire Protection Association*), es una organización fundada en 1896, encargada de crear y mantener las normas y requisitos mínimos para la prevención contra incendio, capacitación, instalación y uso de

medios de protección contra incendio, utilizados tanto por bomberos, como por el personal encargado de la seguridad.

El objetivo de estas normas es suministrar a propietarios, diseñadores, y departamentos de incendio un método para evacuar humos en grandes espacios y lugares sin compartimientos. Suministra las metodologías para calcular la ubicación de humo dentro de un espacio grande debido a un incendio en un espacio adyacente. Estas metodologías comprenden la base técnica para ayudar con el diseño, la instalación, que prueba, operación, y mantenimiento de sistemas de dirección del humo.

- NFPA 4 “Norma para la protección integral del fuego y prueba del sistema de seguridad humana”
- NFPA 92 “Sistema de control de humo”
- NFPA 101 “Código de seguridad de la vida humana contra incendios en edificios”
- NFPA 204 “Sistemas de presurización. Norma para el control de humo y calor en ventilación”

En el Perú, la normativa sobre el tema la dan el Ministerio de Vivienda en Reglamento Nacional de Edificaciones e INDECOPI en las Normas Técnicas Peruanas.

- Norma A.010 “Condiciones generales de diseño de una edificación”
- Norma A.130 “Requisitos de seguridad contra incendios”
- NTP 399.010-1-2012 “Señales de seguridad”
- NTP 350.021-2012 “Clasificación de los fuegos y su representación gráfica”
- NTP 350.063-2-2016 “Seguridad contra incendios en edificaciones”
- NTP / ISO 13943 – 2016 “Seguridad contra incendios. Vocabulario”

## 2.2. Bases teórico científicas

### 2.2.1. Naturaleza del fuego

La seguridad en caso de incendio consiste en reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios de un edificio sufran daños derivados de un incendio de origen accidental, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento. [2]

#### Principios del fuego

El fuego recibe técnicamente el nombre de combustión. La combustión es un conjunto de reacciones químicas de oxidación, es decir, se trata de la combinación del oxígeno procedente del aire con otros productos, materiales o sustancias.

Estos elementos son los siguientes: [2]

- **Combustible:** Es toda sustancia susceptible de reaccionar con el comburente en una reacción rápida y con desprendimiento de energía.
- **Comburente:** Es el agente oxidante que reacciona con el combustible. El oxidante normal es el oxígeno, que se encuentra en la atmósfera en una proporción del 21%.
- **Energía de activación:** Es la energía mínima, en forma de calor, que necesitan el combustible y el comburente para que se inicie la reacción química.

#### Desarrollo del incendio

Los incendios dentro de edificaciones pueden dividirse en cuatro fases principales: [2]

- **Fase 1: Iniciación del incendio**, en la que se inicia la combustión como consecuencia de la activación de un foco de ignición en presencia de un material combustible. Esta fase durará entre unos pocos segundos y aproximadamente cinco minutos.
- **Fase 2: Propagación del incendio**. En esta fase se genera gran cantidad de calor, llamas y gases combustibles. Se alcanzan temperaturas entre los 100 °C y los 800 °C. Normalmente dura unos diez minutos desde la iniciación del incendio.
- **Fase 3: Combustión generalizada**. Esta fase se caracteriza por la inflamación de los gases combustibles situados lejos del foco inicial, lo que provoca una propagación generalizada en todo el recinto.

Se produce una elevación brusca de la temperatura, y la duración de la fase oscila entre 20 y 30 minutos.

- **Fase 4: Agotamiento**. Como consecuencia del consumo de los materiales combustibles, se produce un enfriamiento que finaliza el incendio.

### **Acciones de extinción**

Para extinguir el fuego, basta con la eliminación de cualquiera de los tres elementos reseñados en el triángulo. [2]

- **Dilución**: Es la eliminación del elemento combustible. Es el método menos utilizado, debido a la complicación de retirar los productos que están ardiendo. Se usa más como método preventivo.
- **Sofocación**: Eliminación del elemento comburente. Se puede conseguir mediante concentración de gas inerte que desplace el oxígeno, o cubriendo la superficie en llamas de alguna sustancia incombustible.

- **Enfriamiento:** Eliminación de la energía de activación. Se consigue reduciendo la temperatura del combustible, generalmente lanzando agua sobre las superficies calientes.

## 2.2.2 Escaleras de emergencia

### Definición

Escalera de trazado continuo desde su inicio hasta su desembarco en planta de salida del edificio que, en caso de incendio, constituye un recinto suficientemente seguro para permitir que los ocupantes puedan permanecer en el mismo durante un determinado tiempo. [7]

Una escalera de emergencia es un sistema de evacuación de personas en caso de incendios o algún tipo de emergencia.

### Características a tomar en cuenta para la construcción

- Ubicación y evacuación rápida
- Estructura firme e independiente fuera del edificio
- Material no combustible y retardación del fuego de al menos una hora
- Deben ser diseñadas en forma recta y contar con un ancho mínimo dependiendo de la norma y ocupación del edificio
- Sus barandas deben estar entre 75 y 90 centímetros
- Deben tener huellas y contrahuellas según norma técnica peruana E. 030 “diseño sísmico resistente” del reglamento nacional de edificaciones, decreto supremo N° 002-2014-Vivienda
- Deben abrirse hacia afuera o en dirección de huida
- Sin cerraduras
- Sin ningún obstáculo

## **Tipos de escaleras de emergencias**

Las escaleras pueden ser:

### **Integradas**

Son aquellas que no están aisladas de las circulaciones horizontales y cuyo objetivo es satisfacer las necesidades de tránsito de las personas entre pisos, de manera fluida y visible. [8]

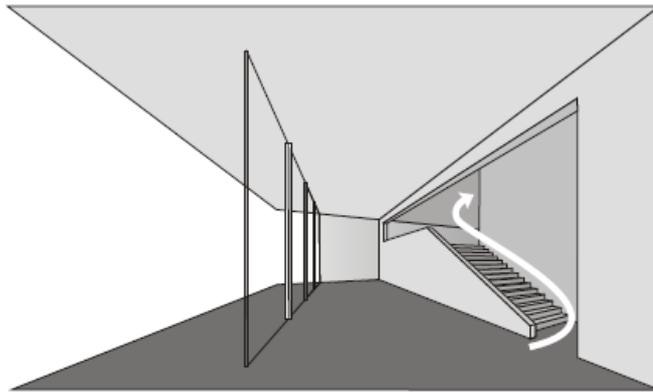


Figura 1. Escalera integrada

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

### **De evacuación**

Son aquellas que son a prueba de fuegos y humos. Pueden ser:

**Con vestíbulo previo ventilado:** sus características son las siguientes: [8]

- Las cajas de las escaleras deben ser protegidas por muros de cierre.
- No deberán tener otras aberturas que las puertas de acceso,
- El acceso será únicamente a través de un vestíbulo que separe en forma continua la caja de la escalera del resto de la edificación.

En caso que se opte por dar iluminación natural a la caja de la escalera, se podrá utilizar un vano cerrado con bloques de vidrio el cual no excederá de 1,50 m<sup>2</sup>.

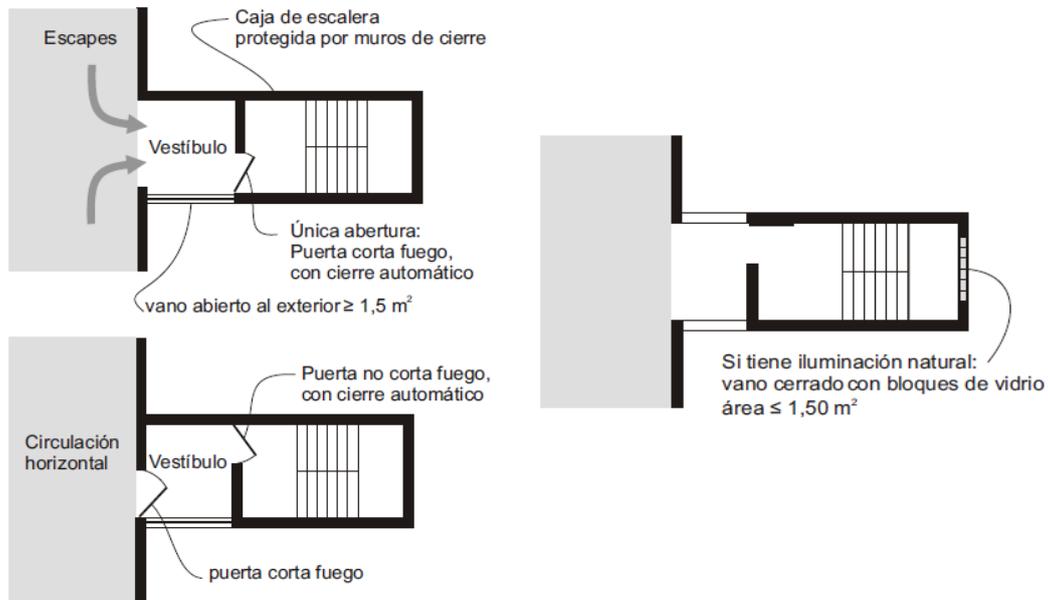


Figura 2. Escaleras de evacuación con vestíbulo previo ventilado  
Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

**Presurizadas:** sus características son las siguientes: [8]

- Contarán con un sistema mecánico que inyecte aire a presión dentro de la caja de la escalera siguiendo los parámetros técnicos requeridos para estos sistemas.
- Deben estar cerradas al exterior.

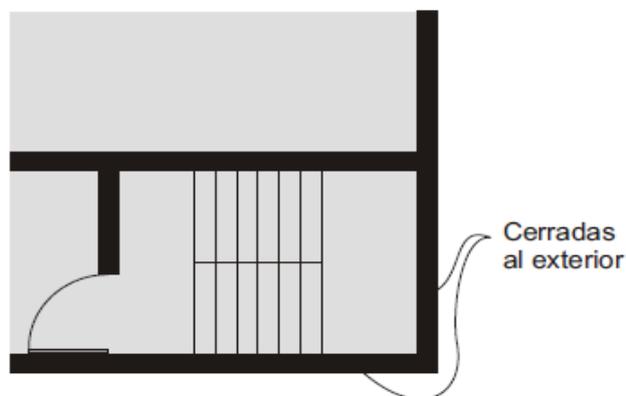


Figura 3. Escalera de evacuación presurizada  
Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

**Abiertas:** sus características son las siguientes: [8]

- Están abiertas al exterior en uno de sus lados con una superficie de al menos 1m en cada piso.
- El vano abierto al exterior estará a una distancia de 3 m o más de un vano de la edificación a la que sirve.

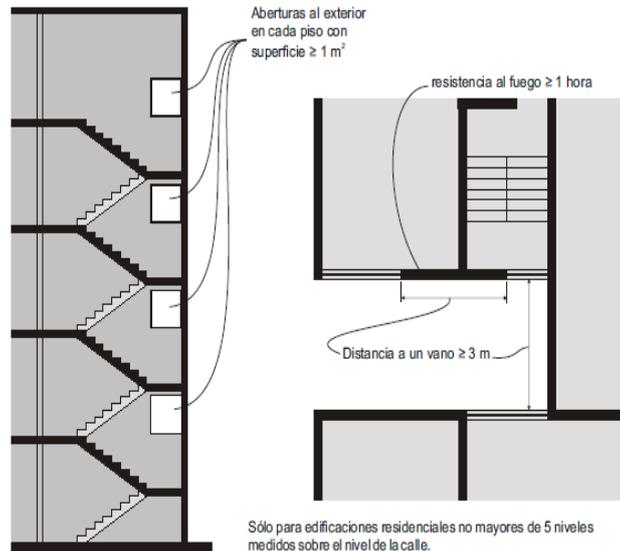


Figura 4. Escalera de evacuación abierta  
Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

**Cerradas:** Sus características son las siguientes: [8]

- Cuando todos sus lados cuentan con un cerramiento corta fuego con una resistencia no menor a 1 hora, incluyendo la puerta.
- Serán aceptadas únicamente en edificaciones no mayor de 4 niveles y protegidas 100% por un sistema de rociadores según estándar NFPA13.

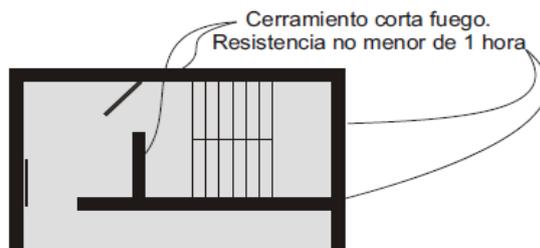


Figura 5. Escalera de evacuación cerrada  
Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

El tipo de escalera que se provea depende del uso y de la altura de la edificación, de acuerdo con la siguiente tabla:

	<b>Integrada</b>	<b>De evacuación</b>
Vivienda	hasta 5 niveles	más de 5 niveles
Hospedaje	hasta 3 niveles	más de 3 niveles
Educación	hasta 4 niveles	más de 4 niveles
Salud	hasta 3 niveles	más de 3 niveles
Comercio	hasta 3 niveles	más de 3 niveles
Oficinas	hasta 4 niveles	más de 4 niveles
Servicios comunales	hasta 3 niveles	más de 3 niveles
Recreación y deportes	hasta 3 niveles	más de 3 niveles
Transportes y comunicaciones	hasta 3 niveles	más de 3 niveles

Tabla 1. Tipos de escalera

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

Las escaleras de evacuación deberán cumplir los siguientes requisitos:

- Ser continuas del primer al último piso, entregando directamente hacia la vía pública o a un pasadizo compartimentado cortafuego que conduzca hacia la vía pública.

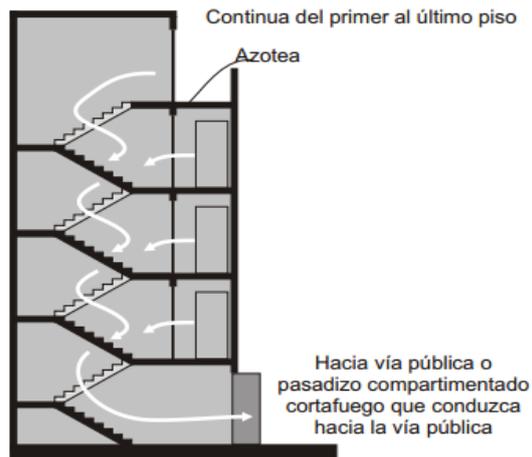


Figura 6. Escalera continua

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

- Tener un ancho libre mínimo entre cerramientos de 1,20 m.

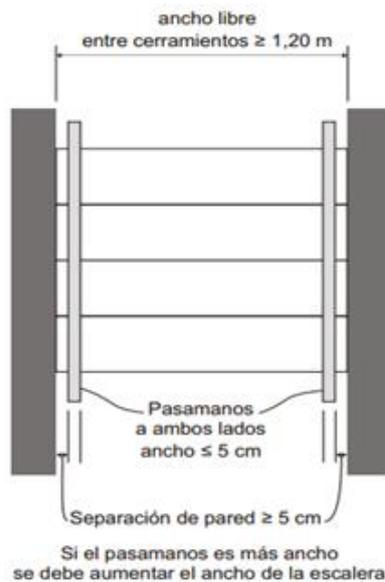


Figura 7. Espacios entre cerramientos  
Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

- Tener pasamanos a ambos lados separados de la pared un máximo de 5 cm. El ancho del pasamanos no será mayor de 5 cm. Pasamanos de anchos mayores requieren aumentar el ancho de la escalera.
- Deberán ser construidas de material incombustible.
- En el interior de la caja de la escalera no deberá existir materiales combustibles, ductos o aperturas.
- Los pases desde el interior de la caja hacia el exterior deberán contar con protección cortafuego (sellador) no menor que la resistencia contra fuego de la caja.
- Únicamente son permitidas instalaciones de los sistemas de protección contra incendios. Tener cerramientos de la caja de la escalera con una resistencia al fuego de 1 hora en caso que tenga 5

niveles, de 2 horas en caso que tengan 6 hasta 24 niveles y de 3 horas en caso que tengan 25 niveles o más.

- Contar con puertas corta fuego con una resistencia no menor del 75% de la resistencia de la caja de escalera a la que sirven.



Figura 8. Cerramientos y puerta cortafuego  
Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

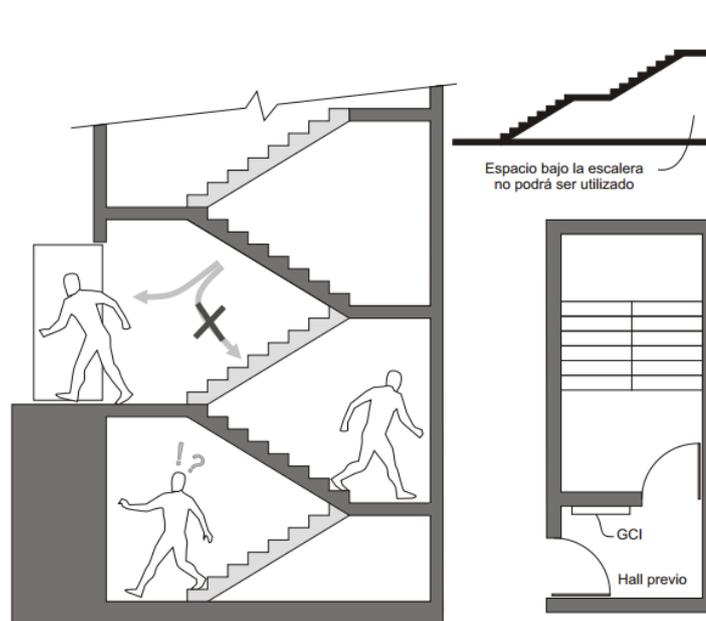


Figura 9. Consideraciones sobre escaleras  
Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

- No será continua a un nivel inferior al primer piso, a no ser que esté equipada con una barrera aprobada en el primer piso, que imposibilite a las personas que evacuan el edificio continuar bajando accidentalmente al sótano.
- El espacio bajo las escaleras no podrá ser empleado para uso alguno.

- Deberán contar con un hall previo para la instalación de un gabinete de manguera contra incendios, con excepción del uso residencial.

### 2.2.3. Propagación y control del humo

#### **Humo:**

Mezcla no homogénea de sustancias sólidas carbonizadas en suspensión (hollín), vapores y gases calientes (tóxicos y no tóxicos), productos de un proceso de pirolisis o combustión incompleta, mezclado con el aire presente en el ambiente. [9]

#### **Objeto del Manejo de Humo:**

1. Protección Humana: disminuir la concentración de gases tóxicos y mejorar las condiciones de visibilidad.
2. Protección de Bienes: evitar daños materiales por depósitos de residuos de carbón (hollín) y disminuir la temperatura del humo a fin de evitar la combustión súbita o espontánea (flash-over) o explosión de humo (back draft).
3. Combate al fuego: generar vías de circulación libres de humo para Bomberos, a fin de facilitar las tareas de combate al incendio.

La siguiente figura muestra la circulación del humo producido por una diferencia de signo positivo, generando el Efecto Chimenea. [4]

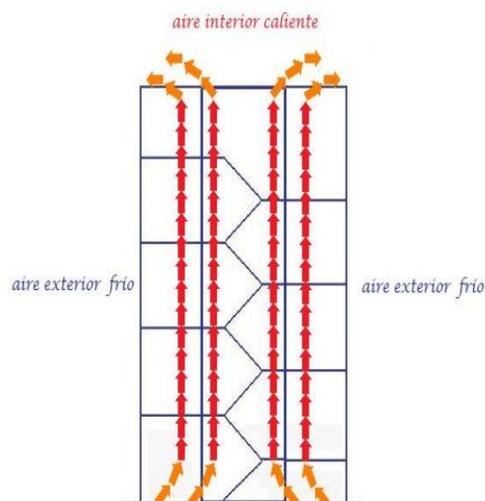


Figura 10. Efecto Chimenea (stack effect)

Fuente: Criterios de diseño de la zona vertical de seguridad contra incendios (Astorga)

Debido a las características del incendio lo propio es que se produzcan temperaturas en el interior que superen las del exterior, por lo tanto, se genera una diferencia de presión que direcciona el movimiento del aire de manera ascendente en el interior. [4]

La diferencia de presión se puede calcular como:

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

Donde:

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

$a$  = Presión atmosférica, Pa.

$T_0$  = Temperatura absoluta exterior, K.

$T_i$  = Temperatura absoluta interior, K.

$C$  = Coeficiente, 0.0342.

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

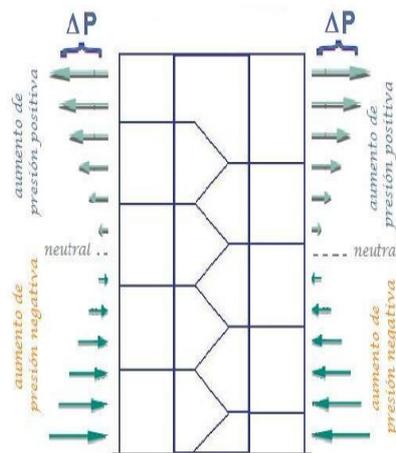


Figura 11. Diferencial de presión por acción y efecto chimenea

Fuente: Criterios de diseño de la zona vertical de seguridad contra incendios (Astorga)

En la figura 11 se puede observar que, por acción y efecto chimenea, el aire desplazado hacia arriba genera en el nivel

superior un diferencial de presión positivo. De igual manera, en el nivel inferior, el gradiente de presión será negativo. [4]

Junto con determinar la diferencia de presión, se puede obtener a la vez el caudal de aire que se moviliza debido a esta diferencia de presión. [4]

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

Donde:

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

A = Área de flujo, m<sup>2</sup>.

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

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

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

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

El diseño del edificio es factor importante para poder controlar las diferencias de presión generadas en un incendio, si se analiza un edificio sin particiones internas, otro con separación hermética de cada piso, y un edificio con ejes verticales y aperturas horizontales, este último es el ideal pues evita grandes diferencias de presión entre los pisos, y de los espacios interiores con el exterior, controlando el movimiento del humo en el interior y permitiendo una propagación más lenta en caso de incendio. [4]

1. Expansión y flotabilidad del humo (bouyancy): por diferencia de densidad, el humo, al poseer mayor temperatura que el aire del ambiente circundante, posee un movimiento ascendente, acumulándose en las capas superiores del edificio. [9]

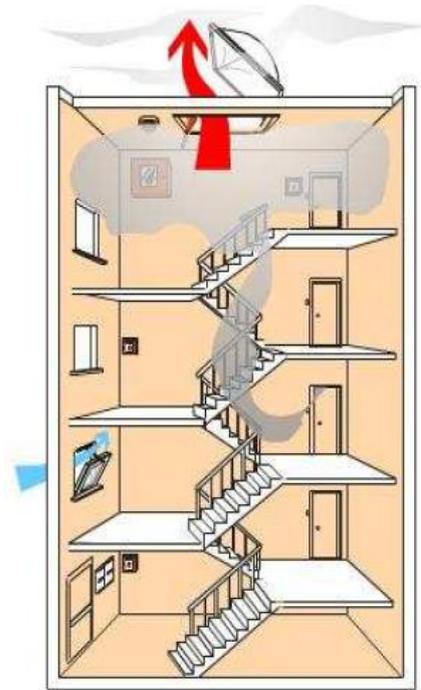


Figura 12. Flotabilidad del humo

Fuente: Cámara de Profesionales y Empresas de Seguridad contra incendios (CAPESI)

El humo a altas temperaturas posee una fuerza de flotabilidad debido a que este reduce su densidad, esta fuerza puede ser expresado como la diferencia de presión entre la zona donde se produce el fuego y sus alrededores en el interior del edificio. [4]

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

Donde:

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

$a$  = Presión atmosférica, Pa.

$T_0$  = Temperatura absoluta entorno, K.

$T_F$  = Temperatura absoluta sector incendio, K.

$C$  = Coeficiente, 0.0342.

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

Como el humo viaja fuera del fuego, su temperatura desciende debido a la transferencia de calor y la dilución de este. Por lo tanto, el efecto de flotabilidad en general disminuye con la distancia del fuego. [4]

2. Presión del viento sobre las paredes exteriores del edificio: este efecto genera zonas de sobrepresión sobre la fachada donde incide el viento y zonas de depresión en la fachada posterior, originando que el humo contenido dentro del edificio se desplace, debido a la generación de estos diferenciales de presión externos. [9]

El viento produce efectos sobre el comportamiento del flujo de aire en el interior del edificio, pues cuando el flujo de aire entra a través de las aberturas en las paredes de barlovento y sale por las aberturas en las paredes de sotavento, varía la presión del aire en el interior del edificio. [4]

La presión del viento sobre la superficie dependerá de: la velocidad y dirección del viento con respecto al edificio, la ubicación y entorno; y finalmente de la forma del edificio. [4]

La presión sobre la superficie puede ser expresada como:

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

Donde:

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

$P_0$  = Presión estática del viento, Pa.

$C_p$  = Coeficiente de presión superficial.

$\rho$  = Densidad del aire,  $\text{kg/m}^3$ .

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

Se puede considerar la densidad del aire como  $1.2 \text{ kg/m}^3$  a una temperatura ambiente de  $20^\circ\text{C}$ , y el coeficiente de presión superficial dentro del rango  $-0.8$  a  $0.8$ , con valores positivos para paredes a barlovento y valores negativos para paredes a sotavento.

El coeficiente de presión depende de la geometría de edificio y varía en la zona sobre la superficie de la pared. [4]

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

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

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

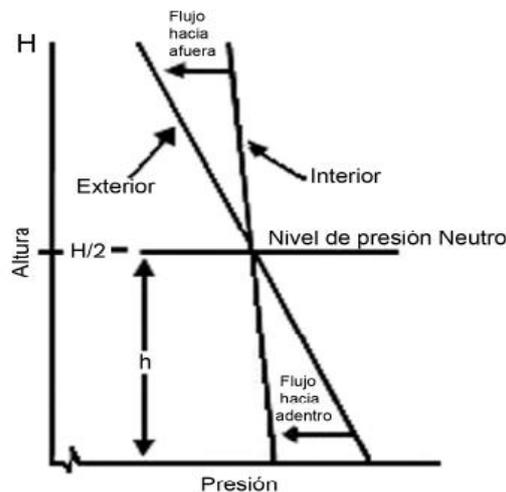


Figura 13. Acción del efecto chimenea con nivel de presión neutra en la mitad del edificio

Fuente: Criterios de diseño de la zona vertical contra incendios (Astorga)

3. Interacción con los sistemas de climatización: los sistemas de climatización inyectan y extraen aire de los diferentes sectores de la edificación, originando movimientos de la masa de aire dentro

del edificio que influyen sobre el movimiento del humo. Incluso el humo puede ser aspirado por rejillas de retorno, desplazarse dentro del sistema termo mecánico de conductos e inyectarse en otros sectores. Por este motivo, al accionarse un sistema de control de humo, el sistema termomecánico debe detener su funcionamiento. [9]

4. Efectos producidos por el movimiento de aire forzado: Antes de conocer el concepto de control de humo, el movimiento forzado de aire en el interior de los edificios producido por los equipos de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC, Heating Ventilating and Air Conditioning), eran automáticamente desactivado y cerrado para evitar de esta manera la propagación del humo a través de los ductos. [4]

Pero hoy en día existe la idea de que estos sistemas pueden servir como ayuda para detectar el incendio cuando el fuego comienza en alguna parte desocupada de un edificio, ya que el sistema puede transportar el humo a un espacio donde la gente pueda oler el humo y ser alertado del fuego para luego desactivar y cerrar el sistema, evitando tanto la propagación del humo como el suministro de aire (comburente) al espacio. [4]

#### **2.2.4 Métodos para controlar el movimiento del humo**

Los métodos que a continuación se señalan pueden ser utilizados solos o combinados con el objetivo de modificar el movimiento del humo en beneficio de los ocupantes del edificio afectado. [4]

1. Compartimentación física, mediante cerramientos (muros, puertas, pisos, techos).
2. Ventilación para extracción del humo, considerando extinguido el incendio.

3. Ventilación para extracción de humo y calor, considerando presente el incendio.
4. Dilución del humo mediante el agregado de aire fresco.
5. Aplicación de diferenciales de presión, con despresurización
6. Aplicación de diferenciales de presión, mediante sobrepresión.

### **Compartimentación física**

La compartimentación es el método más antiguo y fundamental del control de humo.

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

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

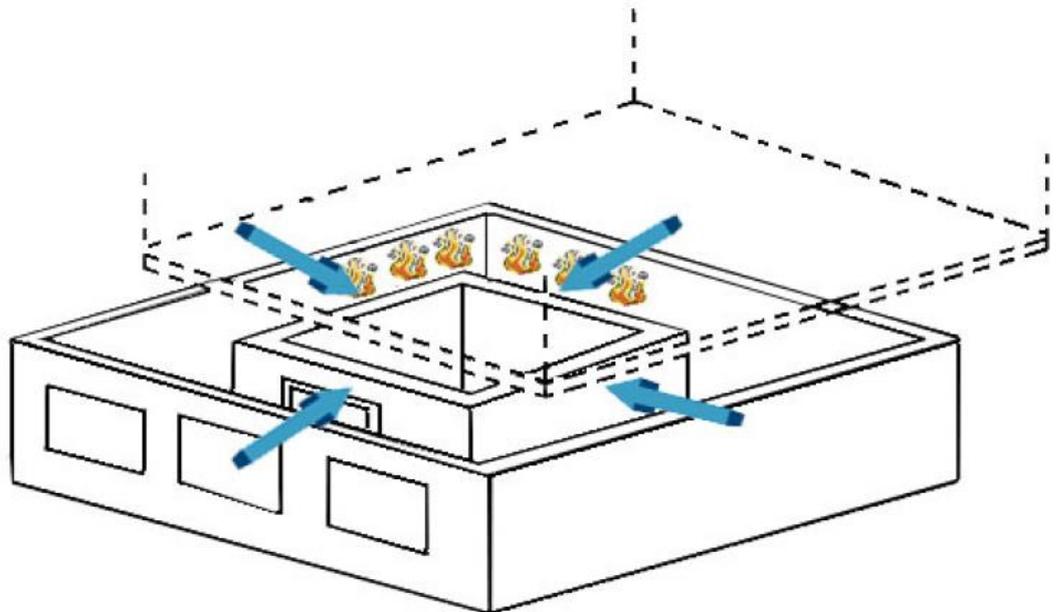


Figura 14. Muros y piso unidos conforman la zona protegida

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

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

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

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

Donde:

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

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

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

T<sub>o</sub> = Temperatura ambiente, K.

T<sub>f</sub> = Temperatura de la zona incendiada, K.

ΔP = Diferencia de presión, Pa.

### **Ventilación para extracción del humo**

La extracción del aire se consigue creando un gradiente de presión negativo en sentido ascendente a lo largo de un conducto vertical de salida, mediante ciclones o ventiladores cuyo arranque puede ser automático combinado con la detección o alarma de incendio o manual. [10]

Es evidente que la dilución reduce también la concentración de componentes tóxicos, pero este es un problema más complicado y no se ha hecho ninguna afirmación respecto a la dilución de los gases tóxicos que proporcionaría una atmosfera segura. Se incluye un análisis sencillo de dilución de humo: [4]

Donde:

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

C<sub>o</sub>= Concentración inicial del contaminante.

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

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

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

Mantener una atmósfera no contaminada en más de un 1%, significa mantener un coeficiente  $C_0/C$  igual a 100, lo que significa reducir la concentración de humo al 1 % de su valor inicial en un tiempo  $t$ .

### Presurización

Los sistemas de presurización de caja de escaleras se basan en la combinación de algunos de los métodos antes mencionados: [9]

- Compartimentación física, mediante cerramientos (muros, puertas, pisos, techos).

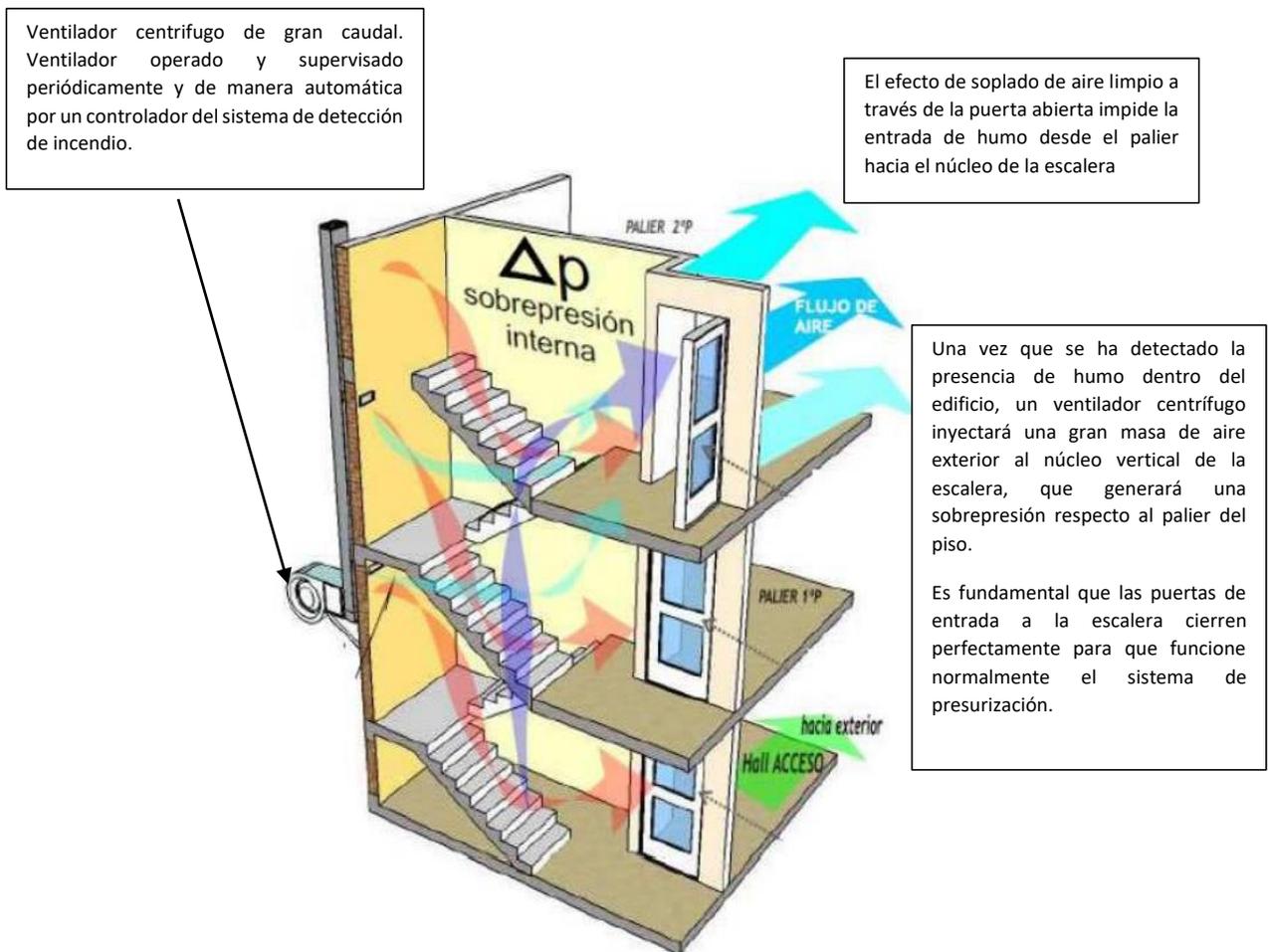


Figura 15. Sobrepresión interna en escaleras

Fuente: INELCO Ingeniería

- Aplicación de diferenciales de presión mediante sobrepresión y generación de un caudal de aire (air-flow), que garantice una velocidad mayor a la velocidad crítica para evitar el ingreso del humo dentro del recinto a proteger (back-flow).

### 2.2.5 Sistemas de presurización de la escalera de emergencia

En la figura 16 se observa un sistema que mantiene un diferencial de presión positivo a puertas cerradas que garantizan que el humo no ingrese al espacio protegido. [9]

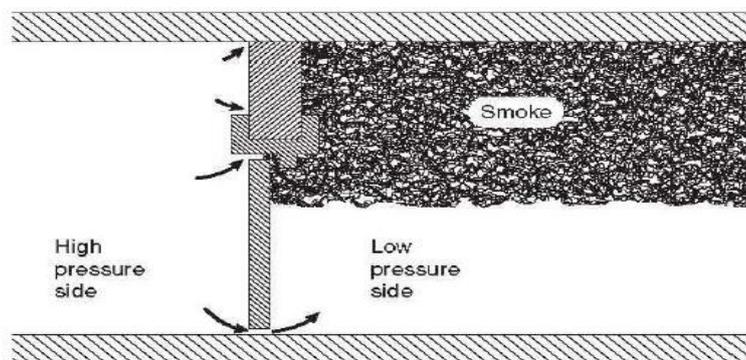


Figura 16. Diferencial de presión positivo a puerta cerrada

Fuente: Cámara de Profesionales y Empresas de Seguridad contra Incendios (CAPESI)

De acuerdo a las investigaciones realizadas por la NFPA la velocidad del aire necesaria para poder inhibir el movimiento del humo en las aberturas implica cantidades de aire suficientes para incitar el aumento del fuego aproximadamente 10 veces el tamaño que hubiese sin esa corriente; debido a esto es sumamente necesario realizar una correcta implementación de este método para evitar sucesos adversos. [4]

Este método de diseño posee los siguientes aspectos a considerar:

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

Las fugas producidas en las aberturas y grietas de las superficies de barreras pueden ser evitadas por la aplicación de una presión, en el interior de la zona vertical, superior a la presión existente en el exterior de esta, ambiente donde se encuentra el incendio. Por lo tanto la mínima diferencia de presión para una zona sin rociadores es un valor que no sea superado por la flotabilidad de los gases calientes, esto para garantizar que no ingresará el humo al interior de la zona protegida. El valor se calcula a través de la siguiente fórmula: [4]

Donde:

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

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

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

$T_0$  = Temperatura absoluta del entorno (K)

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

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

Se considera un Factor de Seguridad de 7.5 Pa, adicional a la presión mínima. Por otro lado, la máxima diferencia de presión que se puede imponer en el interior de la zona es aquella que no supere la fuerza máxima que se puede ejercer para abrir la puerta de acceso. [9]

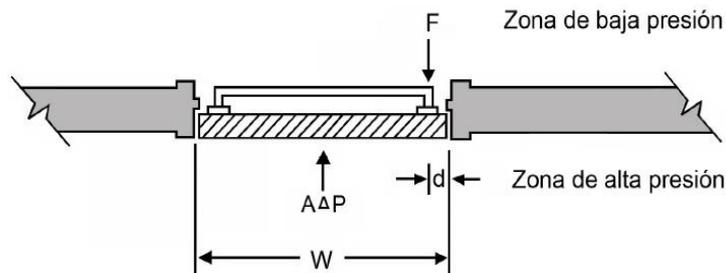


Figura 16. Diagrama de fuerzas

Fuente: Criterios de diseño de la zona vertical de seguridad  
contra incendio (Astorga)

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

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

Donde:

F = Fuerza total para abrir la puerta (lb)

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

W = Ancho de la puerta (ft)

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

ΔP = Diferencia de Presión a través de la puerta (in. w. g.)

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

La SFPE, “Society of Fire Protection Engineers”, afirma que la fuerza para superar el cierre de la puerta usualmente es mayor a 13N y algunas veces llega a ser tan grande como 90N, por otro lado, International Building Code permite un máximo de 133N como fuerza total para abrir la puerta, valor máximo que está estipulado en la NFPA101, Life Safety Code. [4]

Por lo tanto:

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

A partir de lo anterior, de acuerdo a las características de la puerta se puede estimar la sobrepresión máxima que debe existir en el interior de la zona para que esta se encuentre presurizada y permita abrir las puertas. [4]

Una vez obtenido el rango de diferencia de presión, se debe escoger el tipo de instalación que provea una presión en el interior de la zona vertical que permanezca estable sin tener grandes fluctuaciones en su interior al momento de abrir las puertas. [4]

La velocidad del aire en el interior de la zona presurizada es función de la diferencia de presión. Si las puertas están cerradas, la presión interior impide el ingreso de humo a través de infiltraciones, pero si una o más puertas se abren, se crea una velocidad en el o los vanos, que impide el ingreso de humo al interior. [4]

Un diseño de presurización adecuado debe ser capaz de establecer el número de puertas que pueden estar simultáneamente abiertas cuando el sistema de control de humo está operando, sin afectar el funcionamiento de éste. Un sistema que permita que todas las puertas de acceso se encuentren abiertas podría asegurar que el sistema siempre funciona, pero este probablemente acrecentaría el costo del sistema considerablemente. [4]

La decisión sobre el número de puertas que podrían ser simultáneamente abiertas depende en gran medida del comportamiento de los ocupantes del edificio, pues si sólo se pueden abrir cierta cantidad de puertas es necesario tener un plan de evacuación y que este sea conocido por los usuarios para que en caso de incendio puedan ser dirigidos y evacuados ordenadamente, pero en el caso de edificios de estadía momentánea como los hoteles, difícilmente los usuarios seguirán las instrucciones y por lo tanto existe el gran riesgo que el sistema no pueda controlar el humo que ingresa a la zona, es por esto que se hace imprescindible diseñar el sistema tal que permita abrir cualquier puertas. [4]

Por otro lado, una vez obtenido el rango de sobrepresión que debe existir en la zona presurizada, se debe calcular el caudal del ventilador que conviene utilizar al implementar el sistema de control de humo,

para esto es necesario tener en cuenta que se debe generar una velocidad de control mínima y que el sistema debe seguir funcionando con un número de puertas abiertas. [4]

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

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

Donde:

$A_{puerta}$  = área de la puerta o vano,  $m^2$ .

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

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

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

Donde:

$Q_{ventilador}$  = Caudal que debe entregar el ventilador,  $m^3/s$ .

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

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

Donde:

$Q_{ventilador}$  = Caudal que debe entregar el ventilador,  $m^3/s$ .

$A_{filtración}$  = Área de pérdida de aire a través de las aberturas,  $m^2$ .

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

#### **2.2.6. Componentes del sistema de presurización de escaleras**

Las diferentes Normativas definen los siguientes elementos como básicos de un sistema de presurización: [9]

1. Dispositivos de accionamientos (sensores automáticos y dispositivos manuales).
2. Controlador con doble fuente de alimentación eléctrica, una de red, la otra de grupo electrógeno.
3. Presurizador o ventilador.
4. Conductos de inyección de aire y rejillas de insuflación.
5. Dispositivos de sobrepresión (compuertas de sobrepresión, dámper motorizados, dámper motorizados de by-pass, variadores de velocidad, etc.).

### **Criterios de diseño**

Como pautas generales de diseño para un sistema de presurización, se debe considerar: [10]

1. Uso del edificio (residencial, oficinas, hotel, comercial, hospitalario, etc.).
2. Analizar condiciones presentes (efecto chimenea, acción del viento, interacción con sistemas de climatización, espacios internos de la edificación, altura de techo, tipos de cerramientos, protección con rociadores, etc.).
3. Definir aplicación:
  - Evacuación simultánea.
  - Evacuación retardada, como en caso de hospitales o edificios con gran afluencia de público, etc.
  - Evacuación más combate al fuego (para Bomberos).
4. Definir espacios a presurizar.
  - Caja de escaleras, vestíbulos, corredores, huecos de ascensores o una combinación de estos.
5. Determinar la cantidad de puertas abiertas simultáneamente, número que surgirá de un estudio y análisis del tipo y uso de la

edificación, cantidad de personas a evacuar, tiempos de evacuación, etc.

6. Definir diferenciales de presión a puertas cerradas, diferenciales de presión a puertas abiertas, velocidad crítica, fuerza de apertura de puertas, etc. Las Normas de diseño poseen los mismos conceptos generales, pero cada una de estas tiene sus particularidades y enfoques de diseño propios.

Un sistema subdimensionado no evita que ingrese humo al espacio a proteger. Un sistema sobredimensionado genera diferenciales de presión que originan que la fuerza requerida para la apertura de puertas sea muy elevada, dificultando y a veces hasta impidiendo su apertura, además de impedir que la puerta de evacuación de planta baja (batiente hacia afuera) cierre, quedando permanentemente abierta y originando fluctuaciones del gradiente de presión interno.

7. Calcular el presurizador requerido, determinar P y Q a puertas cerradas, P y Q a puertas abiertas. Se deberá considerar: caudales de fugas, velocidad crítica, pérdidas de presión en conductos y accesorios, diferenciales de presión según niveles de la edificación y temperaturas exteriores, puntos de inyección de aire, dispositivos de sobrepresión, etc.
8. Definir la cantidad de puntos de suministros de aire para lograr una distribución uniforme en todo el espacio, verificar las distancias mínimas a respetar desde rejillas de inyección a las puertas, distancias máximas entre rejillas de inyección, y posicionamiento adecuado de persiana de sobrepresión.

Un sistema de distribución de aire mal diseñado puede generar un flujo de aire vertical dentro de la caja de escaleras importante, que

conllevará a pérdidas de presión significativas dentro de estas. Este ítem es variable según Norma de diseño aplicada.

### **2.2.7. Sistemas de ventilación**

#### **1. Definición**

La ventilación se puede definir como aquella técnica que permite controlar, mantener o sustituir el aire en el interior de un ambiente, debido a su falta de pureza, temperatura inadecuada o humedad excesiva. [11]

#### **2. Funciones de la ventilación**

A los seres vivos, personas principalmente, la ventilación les resuelve funciones vitales como la provisión de oxígeno para su respiración y el control de calor que producen, a la vez que les proporciona mejores condiciones afectando a la temperatura del aire, la velocidad del mismo y la dilución de olores indeseables. [12]

#### **3. Sistemas de ventilación**

Los sistemas de ventilación se pueden clasificar según diferentes aspectos: [14]

##### **a. Ventilación natural**

La ventilación natural es un mecanismo utilizado en climas cálidos para eliminar el exceso de calor de los espacios interiores. Se consigue normalmente mediante aperturas en muros exteriores opuestos que contribuyen a la formación de corrientes de aire cruzadas.

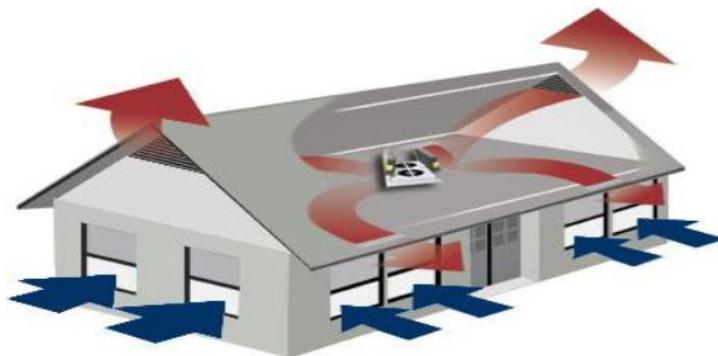


Figura 17: Ventilación natural

Fuente: Tipos de ventilación. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil

Para conseguir que la ventilación natural sea óptima los muros abiertos deberán estar orientados a la zona de viento dominante del entorno. La ventilación, sin embargo, debe realizarse de una manera controlada para que la pérdida de calor que produce sea admisible con la sensación de confort. Las juntas de las aperturas de muros para ventilar también deben ser tratadas para evitar las infiltraciones de aire sobre todo en momentos de mucho viento.

## **b. Ventilación mecánica**

También llamada ventilación dinámica, es la que el movimiento del aire se consigue gracias a ventiladores accionados por un motor.

Según la forma en que se renueva el aire a su vez se subdivide en:

- Ventilación ambiental o general
- Ventilación localizada.

### **b.1 Ventilación ambiental o general**

El aire que entra en el local se difunde por todo el espacio interior antes de alcanzar la salida. Este tipo de ventilación tiene el inconveniente de que, de existir un foco contaminante concreto, como es el caso de cubas industriales con desprendimiento de gases y vapores molestos o tóxicos, el aire de una ventilación general esparce el contaminante por todo el local antes de ser captado hacia la salida.

Este tipo de ventilación mecánica a la vez se subdivide en:

- Ventilación por inyección de aire (Sobrepresión).
- Ventilación por extracción de aire (Depresión).
- Combinación de inyección y extracción.

### b.1.1 Ventilación por inyección de aire

Se obtiene insuflando aire a un local, poniéndole en sobrepresión interior respecto a la presión atmosférica.

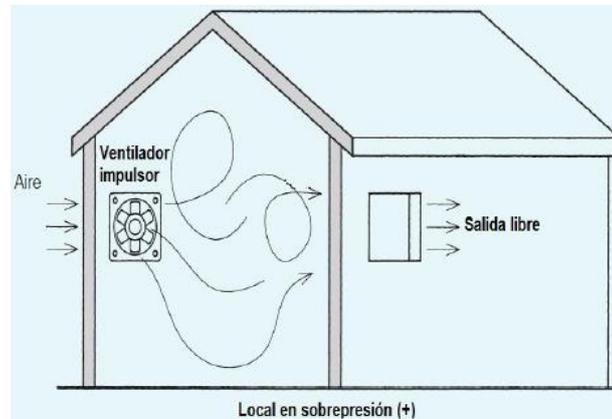


Figura 18: Ventilación por inyección de aire

Fuente: Tipos de ventilación. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil

### b.1.2 Ventilación por extracción de aire

Se logra colocando el ventilador extrayendo el aire del local, lo que provoca que éste quede en depresión respecto de la presión atmosférica. El aire penetra desde fuera por la abertura adecuada, efectuando una ventilación de iguales efectos que la anterior.

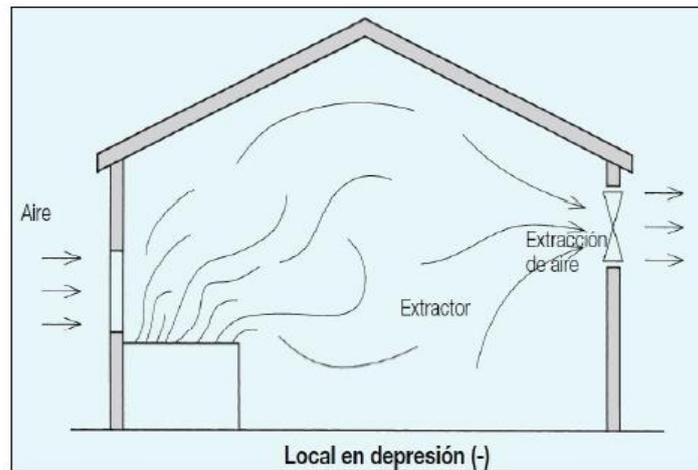


Figura 19: Ventilación por extracción de aire

Fuente: Tipos de ventilación. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil

### 2.2.8. Ventiladores

El ventilador es una turbomáquina operadora de flujo cuasi incompresible cuyo fin es proporcionar un incremento de energía a un cierto caudal de gas, mezcla de gas, aire, mezcla bifásica sólido-gas, para transportarlo de un punto a otro de un sistema dado. [15]

Los ventiladores se usan principalmente para producir flujo de aire de un punto a otro; es posible que la conducción del propio aire sea lo esencial, pero también en muchos casos, el aire actúa sólo como medio de transporte de calor, humedad, etc. o de material sólido, como cenizas, polvos, etc.

Un ventilador consta en esencia de un motor de accionamiento, generalmente eléctrico, con los dispositivos de control propios de los mismos: arranque, regulación de velocidad, conmutación de polaridad, etc. y un propulsor giratorio en contacto con el aire, al que le transmite energía. Este propulsor adopta la forma de rodete con álabes, en el caso del tipo centrífugo, o de una hélice con palas de silueta y en número diverso, en el caso de los axiales. [16]

El conjunto, o por lo menos el rodete o la hélice, van envueltos por una caja con paredes de cierre en forma de espiral para los centrífugos y por un marco plano o una envoltura tubular en los axiales. La envoltura tubular puede llevar una reja radial de álabes fijos a la

entrada o salida de la hélice, llamada directriz, que guía el aire, para aumentar la presión y el rendimiento del aparato. [16]

En el tipo helicocentrífugo y en el transversal, el elemento impulsor del aire adopta una forma cercana al de los rodetes centrífugos.

Dentro de una clasificación general de máquinas, como muestra la siguiente figura, encontramos a los ventiladores como turbomáquinas hidráulicas, tipo generador, para gases. [16]

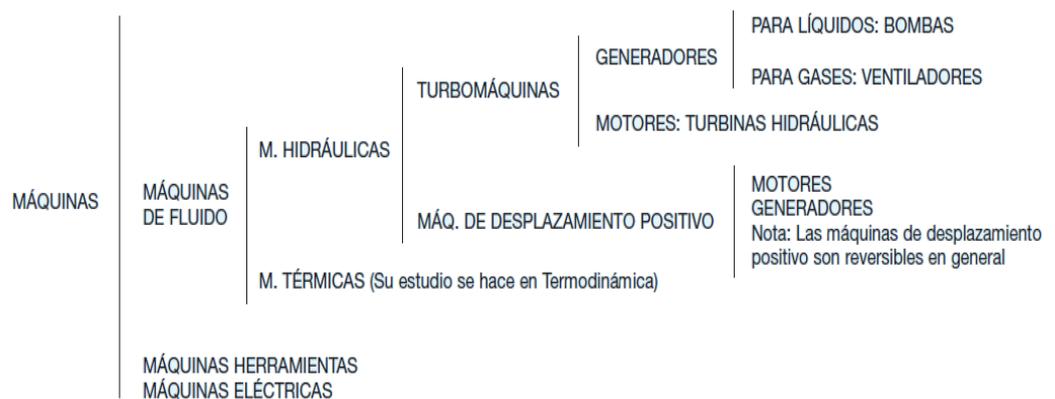


Figura 20: Clasificación general de las máquinas

Fuente: Manual práctico de ventilación. Salvador Escoda S.A.

Barcelona

## Clasificación de los ventiladores

Los ventiladores pueden clasificarse de formas muy diferentes, siendo la más común la siguiente: [16]

### 1. Según su función

#### a. Ventiladores con envolvente

Suele ser tubular, por lo que también se les denomina Tubulares y tienen por objeto desplazar aire dentro de un conducto.

### a.1 Impulsores

Son los ventiladores en los que la boca de aspiración está conectada directamente a un espacio libre, estando la boca de descarga conectada a un conducto.

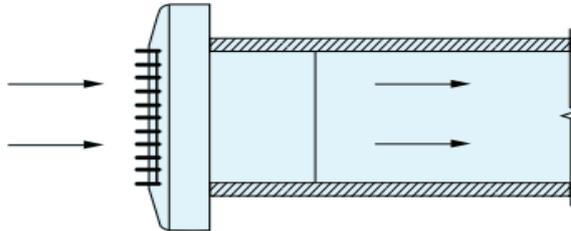


Figura 21: Impulsor

Fuente: Manual práctico de ventilación. Soler y Palau. Madrid

### a.2 Extractores

Son los ventiladores en los que la boca de aspiración está conectada a un conducto y la boca de descarga está conectada a un espacio libre.

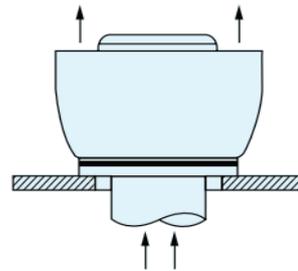


Figura 22: Extractor

Fuente: Manual práctico de ventilación. Soler y Palau. Madrid

## b. Ventiladores murales

Conocidos también como, simplemente, extractores, sirven para el traslado de aire entre dos espacios distintos.

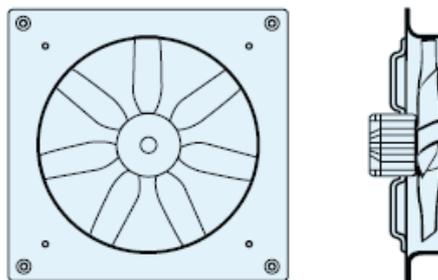


Figura 23: Axial mural

Fuente: Manual práctico de ventilación. Soler y Palau. Madrid

## 2. Según la trayectoria del aire en el ventilador

### a. Ventiladores centrífugos

En los que el aire entra en el rodete con una trayectoria esencialmente axial y sale en dirección perpendicular.

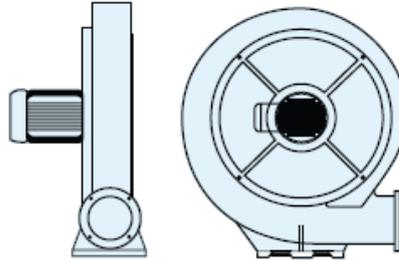


Figura 24: Centrífugo

Fuente: Manual práctico de ventilación. Soler y Palau. Madrid

Los rodetes de los ventiladores centrífugos pueden ser de tres tipos:

Álabes radiales

Álabes hacia adelante

Álabes hacia atrás

### b. Ventiladores axiales

En los cuales el aire entra y sale de la hélice con trayectorias a lo largo de superficies cilíndricas coaxiales al ventilador.

Las hélices de los ventiladores axiales pueden ser de dos tipos:

Perfil delgado

Perfil sustentador (o de ala de avión, portante).

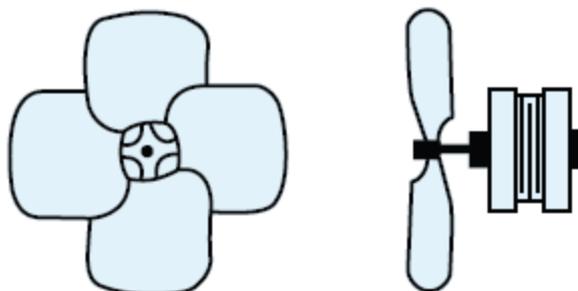


Figura 25: Hélice axial. De perfil delgado

Fuente: Manual práctico de ventilación. Soler y Palau. Madrid

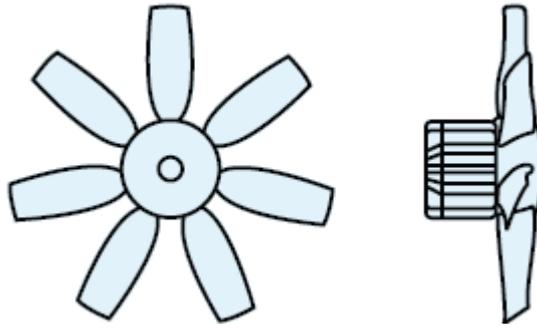


Figura 26: Hélice axial. De perfil sustentador

Fuente: Manual práctico de ventilación. Soler y Palau. Madrid

### 3. Según la trayectoria del aire

#### a. Baja presión

Cuando la presión del ventilador es inferior a 72 mm c.d.a.

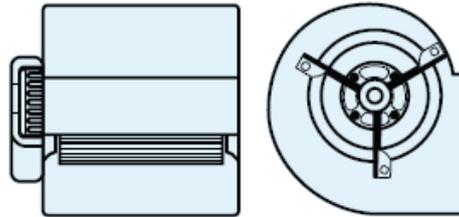


Figura 27: Centrífugo. Baja presión

Fuente: Manual práctico de ventilación. Soler y Palau. Madrid

#### b. Mediana presión

Cuando la presión del ventilador está comprendida entre 72 y 360 mm c.d.a.

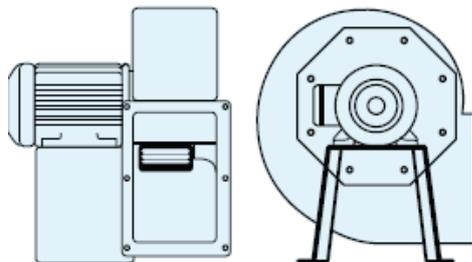


Figura 28: Centrífugo. Media presión

Fuente: Manual práctico de ventilación. Soler y Palau. Madrid

### c. Alta presión

Cuando la presión del ventilador es superior a 360 mm c.d.a.

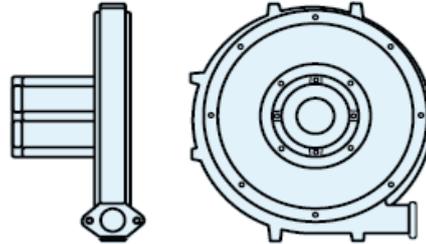


Figura 29: Centrífugo. Alta presión

Fuente: Manual práctico de ventilación. Soler y Palau. Madrid

## 4. Según las condiciones de funcionamiento

### a. Ventiladores corrientes

Son los que efectúan el movimiento de aire no tóxico, no saturado, no inflamable, no corrosivo, no cargado de partículas abrasivas y que la temperatura no sobrepasa 80 °C (ó 40 °C, si el motor se encuentra en la corriente de aire).

### b. Ventiladores especiales

Son los diseñados para vehicular gas caliente, húmedos, corrosivos, para el transporte neumático, antiexplosivo, etc.

## 5. Según el accionamiento de la hélice

Atendiendo al sistema empleado para el accionamiento de la hélice, es decir, si está accionada directamente por el motor, mediante correas, con motor de rotor exterior, etc.

## 6. Según método de control de las prestaciones del ventilador

Atendiendo al sistema empleado para variar las prestaciones del ventilador, que puede conseguirse variando la velocidad del motor, mediante compuertas, variando la inclinación de los álabes, tanto los de la hélice como los de la directriz de entrada, etc.

### a. Con regulador de velocidad

Los reguladores varían las condiciones de la corriente de alimentación y con ello la velocidad del motor y, a la postre, la característica del ventilador.

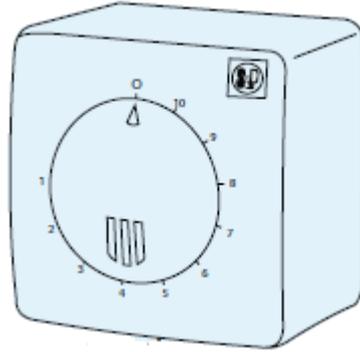


Figura 30: Regulador electrónico de velocidad

Fuente: Manual práctico de ventilación. Soler y Palau. Madrid

Pueden ser de transformador, que varían la tensión de alimentación manteniendo su forma senoidal y variadores de frecuencia que aumentan o disminuyen ésta y por tanto la velocidad del motor.

### b. Con compuertas

Las compuertas, siempre a la admisión del ventilador y mejor para centrífugos (los axiales las soportan mal) abren y cierran el paso al aire de entrada al aparato con lo que regula la característica del mismo.

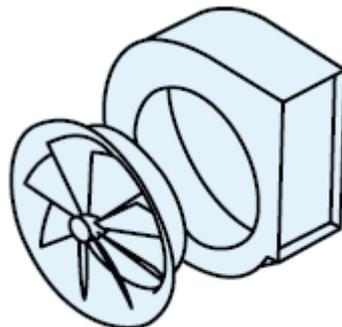


Figura 31: Compuerta de aletas radiales a la admisión

Fuente: Manual práctico de ventilación. Soler y Palau. Madrid

### c. Con alabes de inclinación variable

Se usa generalmente este método en ventiladores axiales, lográndose caudales muy ajustados a los objetivos fijados, pero exige una alta complejidad constructiva para la hélice de los mismos. Variando el ángulo de los álabes se logran regímenes distintos del ventilador, pero hay que ir con cuidado con la capacidad del motor de accionamiento para no sobrepasarla y comprometer su seguridad. Los aparatos más sofisticados, y caros, de este tipo pueden variar la inclinación de sus álabes estando el aparato en funcionamiento, sin interrumpir su trabajo. Sólo es aplicable este método en grandes ventiladores.

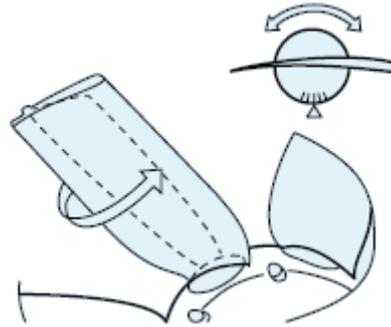


Figura 32: Hélice axial de alabes con inclinación variable

Fuente: Manual práctico de ventilación. Soler y Palau. Madrid

### **Curva característica:** [13]

El ensayo de ventiladores tiene por objeto determinar la capacidad del aparato para transferir la potencia al aire que mueve.

El ventilador se hace funcionar a un régimen de giro constante, tomando valores de diferentes caudales movidos, según sea la pérdida de carga que debe vencerse.

La curva característica de un ventilador se obtiene dibujando en unos ejes de coordenadas los distintos valores caudal-presión, obtenidos mediante ensayo en un laboratorio.

Observemos la siguiente figura en que se han representado las curvas características de los tipos fundamentales de ventilación, para poder comprender mejor su comportamiento.

Los tres ventiladores que se comparan tienen el mismo diámetro de rodete.

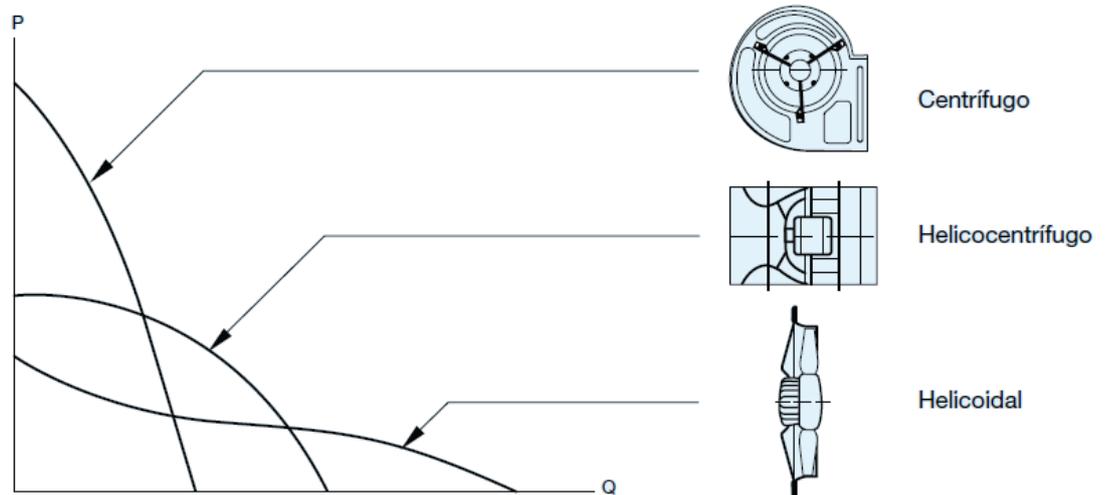


Figura 33: Curvas características de los ventiladores

Fuente: Manual práctico de ventilación. Soler y Palau. Madrid

Podemos observar que, a igualdad de caudal impulsado (Q), los ventiladores centrífugos dan más presión que los helicocentrífugos, y éstos a su vez más que los helicoidales.

También se observa que, los centrífugos mueven caudales menores que los helicocentrífugos, y éstos menos que los helicoidales.

Por tanto, puede aceptarse que los ventiladores más adecuados cuando los caudales sean grandes y las presiones que deban vencer sean pequeñas son los helicoidales. Este tipo de ventilador tiene además la ventaja de la facilidad de instalación.

Los ventiladores indicados para mover caudales pequeños, pero a elevada presión son los centrífugos; finalmente, un caso intermedio es el de los ventiladores helicocentrífugos.

### Leyes de los ventiladores: [16]

Las curvas características de los ventiladores siguen ciertas leyes, llamadas «leyes de los ventiladores», que permiten determinar cómo varían caudal, presión y potencia absorbida por el ventilador al variar las condiciones de funcionamiento. Aplicamos estas leyes en el caso de la variación de velocidad de giro del ventilador:

El caudal es proporcional a la relación de velocidades:

$$Q_2 = Q_1 \cdot \left[ \frac{n_2}{n_1} \right]$$

La presión es proporcional al cuadrado de la relación de velocidades:

$$P_2 = P_1 \cdot \left[ \frac{n_2}{n_1} \right]^2$$

La potencia absorbida es proporcional al cubo de la relación de velocidades:

$$N_2 = N_1 \cdot \left[ \frac{n_2}{n_1} \right]^3$$

Mediante las relaciones anteriores podemos conocer los valores que toman las diferentes variables para diferentes regímenes de giro del ventilador.

Variando la velocidad de éste podemos conseguir que el caudal y la presión se ajusten a las necesidades de cada momento.

Debemos tener muy en cuenta de las curvas características de los ventiladores están siempre realizadas a las máximas revoluciones

posibles. La regulación sólo se puede realizar disminuyendo la velocidad de giro del ventilador.

La tabla 2 reúne las leyes agrupadas en función de tres variaciones.

Leyes de los ventiladores		
Si varía...	y permanecen constantes	Se cumple
<b>Diámetro hélice, d</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad</li> <li>• Densidad</li> <li>• Punto de funcionamiento</li> </ul>	<p><b>El caudal</b> es proporcional al cubo de la relación de diámetros</p> <p><b>La presión</b> es proporcional al cuadrado de la relación de diámetros</p> <p><b>La potencia absorbida</b> es proporcional a la quinta potencia de la relación de diámetros.</p>
<b>Velocidad de rotación, n</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diámetro de la hélice</li> <li>• Densidad</li> </ul>	<p><b>El caudal</b> es proporcional a la relación de velocidades.</p> <p><b>La presión</b> es proporcional al cuadrado de la relación de velocidades.</p> <p><b>La potencia absorbida</b> es proporcional al cubo de la relación de velocidades.</p>
<b>Densidad del aire, <math>\rho</math></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caudal</li> <li>• Velocidad</li> </ul>	<p><b>La presión</b> es proporcional a la relación de densidades.</p> <p><b>La potencia absorbida</b> es proporcional a la relación de densidades.</p>

Tabla 2: Leyes de los ventiladores

Fuente: Manual práctico de ventilación. Soler y Palau. Madrid

### Control de flujo en ventiladores: [17]

Los motores son los dispositivos más ampliamente utilizados para convertir la energía eléctrica en alguna otra forma útil, representando el 70% del consumo total.

Una gran parte de ésta energía se aplica a motores de inducción para accionar bombas, sopladores y ventiladores, considerándose que el 50% de los motores en uso están destinados a este tipo de cargas.

Las bombas y ventiladores son calculados para cubrir los requerimientos máximos de la carga, sin embargo, es común que el

sistema demande una amplia gama de puntos de operación, hasta fracciones de los parámetros de diseño. Elementos como válvulas reguladoras o compuertas son ampliamente utilizados en ventiladores y bombas para adecuarse a estas necesidades y aunque son confiables y simples afectan severamente la eficiencia del sistema. [17]

El continuo desarrollo de variadores de velocidad plantea una alternativa más eficiente para el control de flujo, permitiendo aprovechar los accionamientos existentes. El ventilador más comúnmente empleado, es el tipo centrífugo, el cual imparte la energía al aire por la fuerza centrífuga, incrementando su presión y produciendo un flujo a la salida. [17]

En la Figura 53 se muestra la curva presión-flujo para un ventilador centrífugo a una velocidad dada. Las curvas estándar comprenden una familia de éstas para diferentes velocidades e incluyen las eficiencias y requerimientos de potencia. [17]

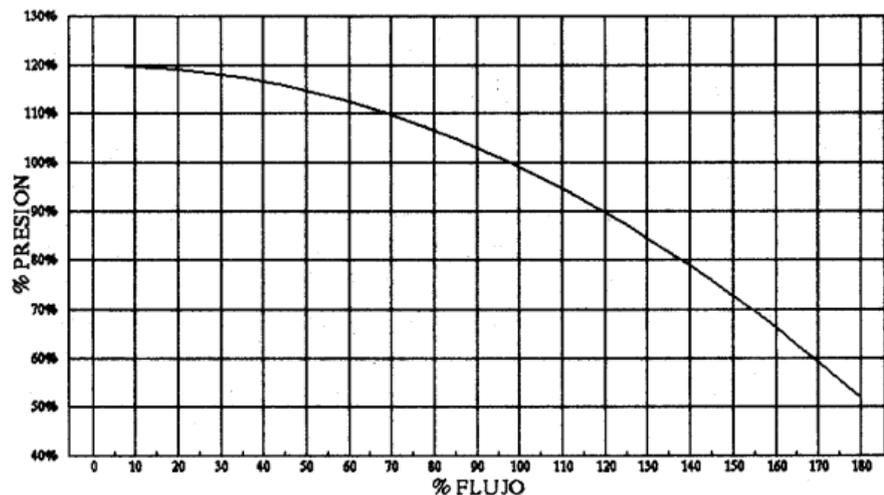


Figura 34: Curva características del ventilador centrífugo

Fuente: Automatización, productividad y calidad S.A. México

La curva del sistema representa los requerimientos totales, incluyendo pérdidas y, carga útil, mismas que el ventilador debe vencer para aportar el flujo requerido. Su función se establece como:

$$P = k\varphi^2$$

donde:

P: Presión a la carga del ventilador

$\phi$ : Flujo de aire en el sistema

k: Constante que representa la fricción al flujo del aire

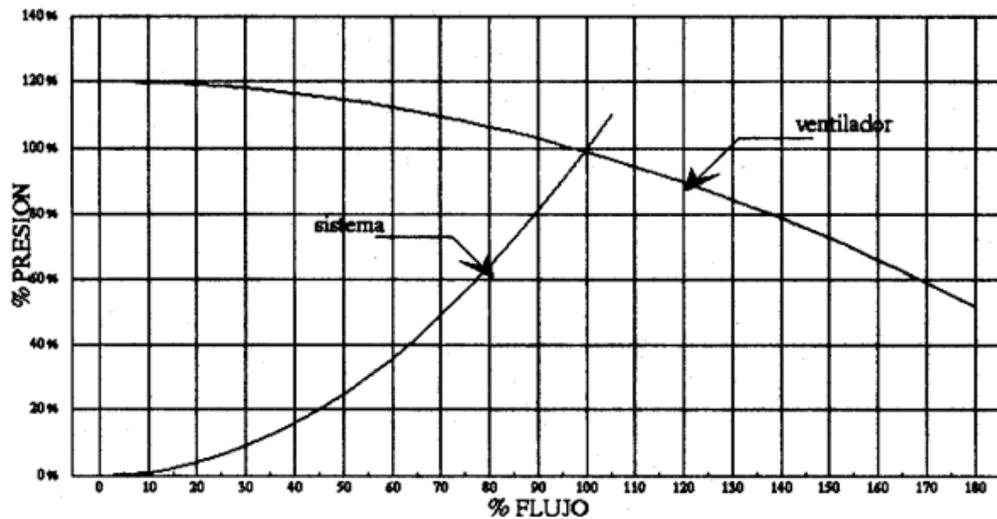


Figura 35: Curva del sistema

Fuente: Automatización, productividad y calidad S.A. México

Esta curva es independiente de la capacidad del ventilador.

La intersección de ambas curvas es el punto natural de operación en el que se define la presión y el flujo que el ventilador proporcionará cuando se conecte al sistema.

#### **Métodos de regulación:** [17]

Para poder alcanzar los diferentes puntos de operación requeridos por el sistema, se emplean básicamente tres métodos para modular el flujo:

- Compuertas en la descarga
- Aletas regulables en la entrada
- Accionamientos de velocidad variable

## 1. Compuertas en la descarga

Con este dispositivo la regulación se obtiene variando la apertura de las persianas', lo cual provoca que se incremente la resistencia del aire, afectándose la constante "k" del sistema y por lo tanto su curva de operación, tal como se muestra en la Figura 36.

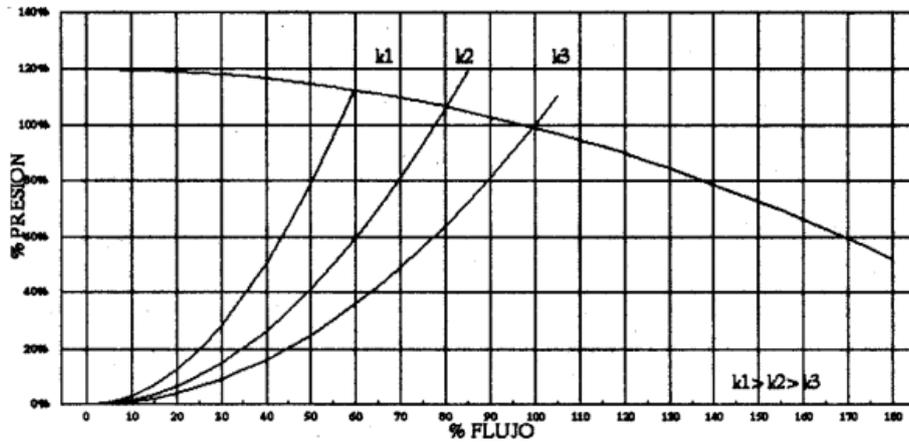


Figura 36: Curvas del sistema para diferentes posiciones de las compuertas

Fuente: Automatización, productividad y calidad S.A. México

Este arreglo permite obtener diferentes puntos de operación, destacándose que la reducción en el flujo está acompañada de un incremento en la presión.

Así mismo, los requerimientos de potencia decrecen gradualmente con la disminución del flujo como se observa en la Figura 37.

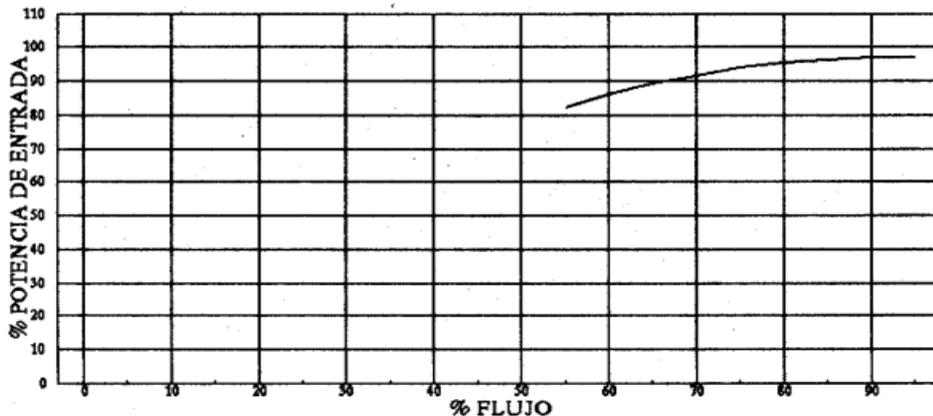


Figura 37: Requerimientos de potencia con compuertas a la descarga

Fuente: Automatización, productividad y calidad S.A. México

## 2. Aletas regulables en la entrada

En este método se regula la posición de las aletas ubicadas en la succión, mortificándose la curva del ventilador de forma tal que intercepta la curva del sistema en diferentes puntos, tal como se indica en la Figura 38.

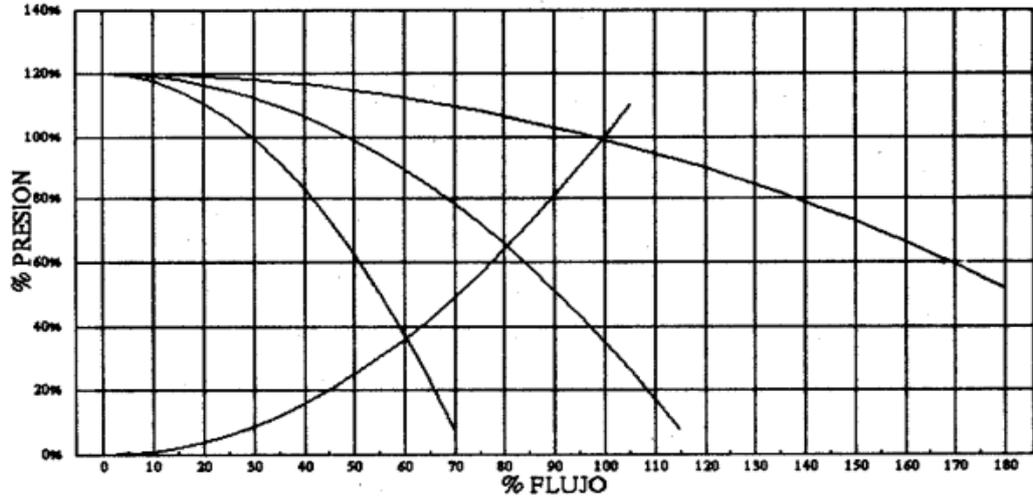


Figura 38: Curvas del ventilador para diferentes posiciones de las aletas  
Fuente: Automatización, productividad y calidad S.A. México

La disminución en el flujo conlleva a una reducción en la presión, requiriéndose de menor potencia para el mismo caudal que con relación al método anterior.

## 3. Accionamientos a velocidad variable

Con este método se aprovecha el cambio en la curva del ventilador conforme se varía su velocidad, cuyo comportamiento se define por las leyes de afinidad

$$Q_2 = (N_2/N_1) \cdot Q_1$$

$$P_2 = (N_2/N_1)^2 \cdot P_1$$

$$HP_2 = (N_2/N_1)^3 \cdot HP_1$$

Consiguiendo que el ventilador siga de una manera muy cercana a la curva del sistema, cuando se varía su velocidad.

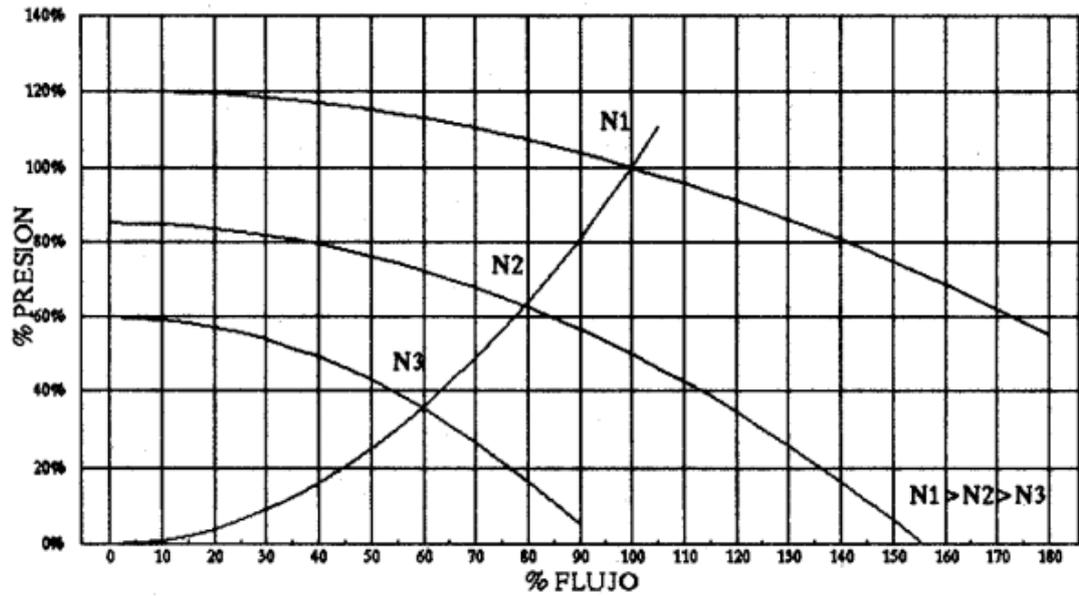


Figura 39: Curvas del ventilador accionado por un variador de velocidad  
Fuente: Automatización, productividad y calidad S.A. México

Con este método se mejora la eficiencia, obteniéndose el resultado deseado con la mínima potencia de entrada.

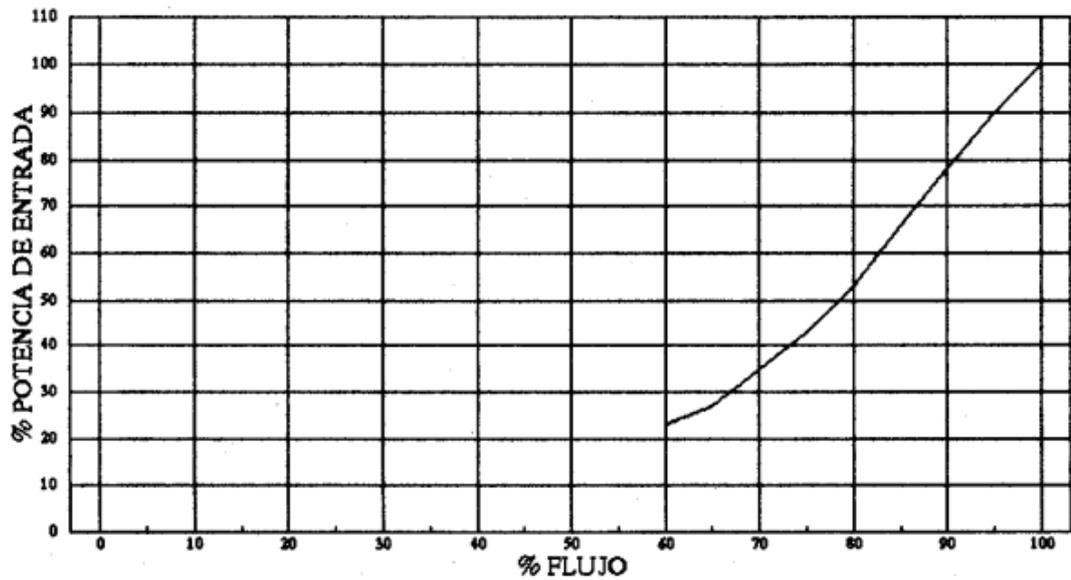


Figura 40: Requerimientos de potencia con variador de velocidad  
Fuente: Automatización, productividad y calidad S.A. México

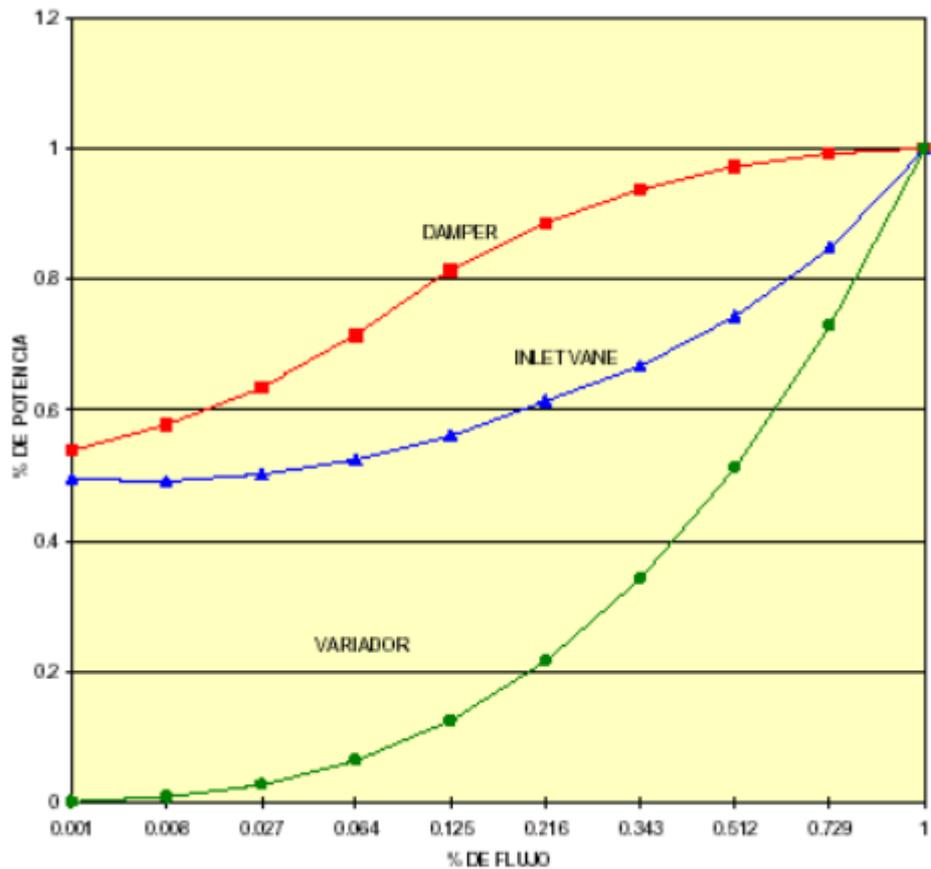


Figura 41: Comparación de potencia entre los tres métodos

Fuente: Automatización, productividad y calidad S.A. México

### 2.2.9. Variador de velocidad

Es importante que el motor y la máquina accionada operen en su punto óptimo de operación, es decir que el motor consuma la energía necesaria para mover la carga y la velocidad de operación de la carga sea la que corresponda a su eficiencia máxima. El punto óptimo de operación de los motores eléctricos generalmente no ocurre a la velocidad nominal del motor ni a la tensión nominal del motor, más bien este punto se encuentra a una velocidad diferente a la de placa y a una potencia menor a la nominal. [18]

Existen dos equipos electrónicos que pueden usarse para la regulación electrónica del funcionamiento del motor: el arrancador electrónico y el convertidor de frecuencias (variador electrónico de velocidad).



Figura 42: Variador de velocidad

Fuente: Catálogo de variador de velocidad Siemens

El variador de velocidad o frecuencia, conocido también como AFD (The Adjustable Frequency Drive), es una unidad electrónica gobernada por un microprocesador, se utiliza para el control de velocidad de los motores trifásicos de inducción.

Es un dispositivo que varía la velocidad de un motor controlando electrónicamente el voltaje y la frecuencia entregada al motor, manteniendo el torque constante hasta la velocidad nominal. Permite que el motor trabaje muy cerca del punto óptimo de operación. [19]

La función de un convertidor de frecuencias es cambiar una tensión de entrada de corriente alterna con una magnitud y frecuencia fija, en una tensión simétrica de salida en corriente alterna, con amplitud y frecuencia deseada. [20]

Entre estas dos etapas hay una etapa intermedia de rectificación a corriente continua de la entrada, para después ondular a las magnitudes deseadas. El esquema de un convertidor de frecuencias es el siguiente: [21]

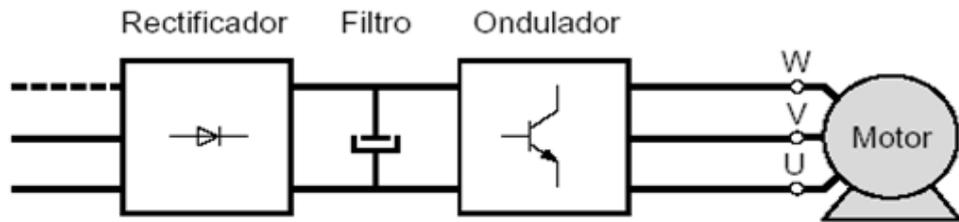


Figura 43. Esquema de un convertidor de frecuencias.

Fuente: Manual de variadores de velocidad. VACON.

Al variar la frecuencia eléctrica aplicada al estator, la velocidad de rotación del campo magnético cambia en proporción directa al cambio de la frecuencia eléctrica.

El control de la velocidad se realiza mediante la frecuencia de conmutación de los componentes electrónicos (IGBT, transistor, MOSFET o GTO) que forman el ondulador.

Recientes estudios, muestran que las bombas requieren 31% de la energía usada, los compresores 18%, los ventiladores y secadores 18% y las bandas transportadoras cerca del 14%. Las cargas que tienen momento variable son las mejores candidatas a adicionar un AFD para ahorrar energía.

Los ventiladores y bombas centrífugas son cargas de torque variable donde la potencia requerida varía con el cubo de la velocidad, de esta manera al disminuir la velocidad de operación disminuirá la potencia requerida por el motor y el ahorro de energía viene de reducir la velocidad del motor. En estos casos, la regulación electrónica de la velocidad de los motores en función de las necesidades, sustituye a los sistemas tradicionales de control (muy útiles en su momento) con buenos resultados energéticos. [18]

La regulación electrónica de velocidad es un buen aliado para el ahorro de Energía Eléctrica y la conservación del Medio Ambiente.

## 2.2.10. Sensor de humo

### Principio de funcionamiento

Existen dos tipos básicos de detectores de humo en uso actualmente: los detectores por ionización y los detectores fotoeléctricos. Las cámaras de los sensores tienen diferentes principios de funcionamiento para detectar las partículas de combustión visibles o invisibles liberadas en un incendio. [22]

- Detectores por ionización: Operan bajo el principio de ionización del aire. Están compuestos de una cámara de ionización con un ánodo, un cátodo y un electrodo iniciador. [23]

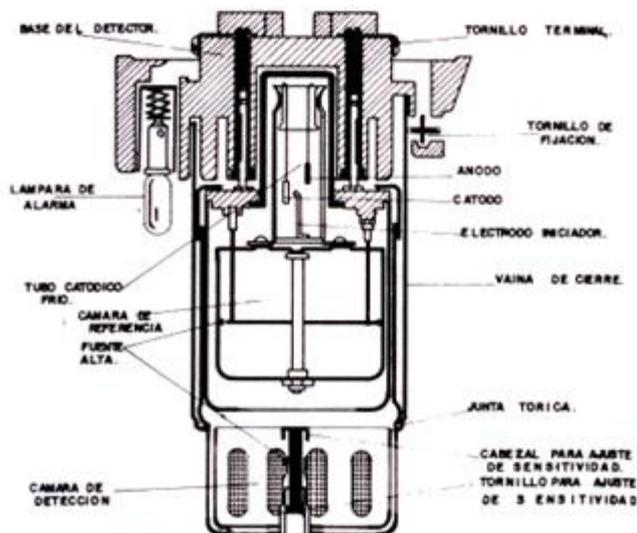


Figura 44. Detector por ionización

Fuente: System Sensor. Detectores de humo para sistemas. EEUU

- Detector fotoeléctrico: El humo generado en un incendio bloquea u oscurece el medio en el que se propaga un haz de luz. También puede dispersar la luz cuando ésta se refleja y refracta en las partículas de humo. Los detectores fotoeléctricos están diseñados para utilizar estos efectos a fin de detectar la presencia de humo. [23]

Detector de humo fotoeléctrico por dispersión de luz:

La mayoría de los detectores de humo fotoeléctricos tienen cobertura localizada (puntual) y funcionan con el principio de dispersión de luz. [23]

El haz de un diodo emisor de luz (LED) incide en un área adonde no puede ser captado bajo condiciones normales por un fotosensor, que generalmente es un fotodiodo (véase Figura 64).

Cuando hay presencia de humo en la trayectoria del haz, la luz incide sobre las partículas de humo (Figura 65) y se refleja sobre el fotosensor, que al recibir la luz genera una señal.

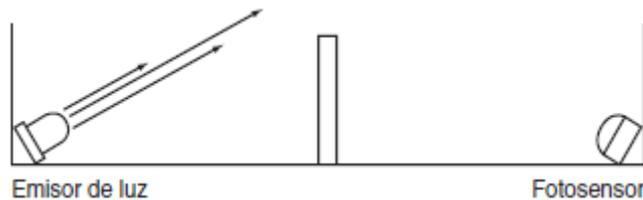


Figura 45. Detector por dispersión de luz

Fuente: System Sensor. Detectores de humo para sistemas. EEUU

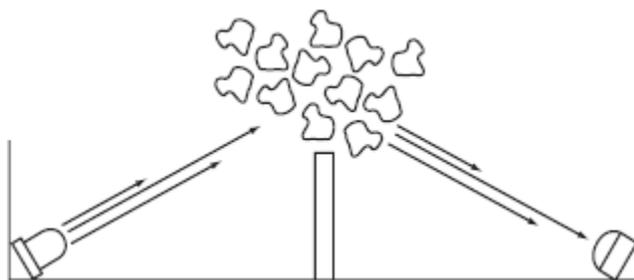


Figura 46. Detector por dispersión de luz, con humo

Fuente: System Sensor. Detectores de humo para sistemas. EEUU

Detector de humo fotoeléctrico por oscurecimiento: [23]

Este tipo de detector también utiliza un emisor de luz y un elemento fotosensor, tal como sería un fotodiodo (Figura 66).

Cuando las partículas de humo bloquean parcialmente la trayectoria del haz de luz (Figura 67), se reduce la intensidad de luz recibida por el fotosensor. Esta variación es captada por un circuito electrónico que, al llegar al valor precalibrado genera una señal de iniciación de alarma.

Generalmente, los detectores por oscurecimiento utilizan un haz de luz que barre el área a proteger.

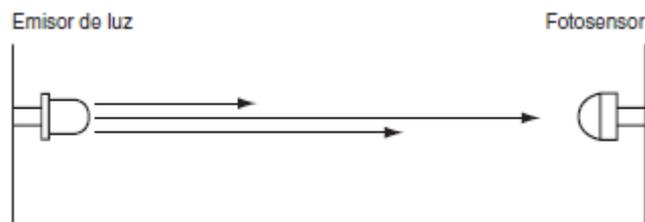


Figura 47. Detector por oscurecimiento

Fuente: System Sensor. Detectores de humo para sistemas. EEUU

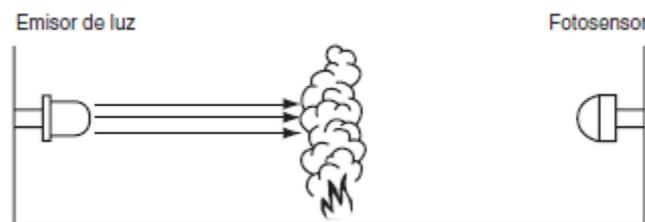


Figura 46. Detector por oscurecimiento, con humo

Fuente: System Sensor. Detectores de humo para sistemas. EEUU

**Indicaciones de seguridad: [24]**

- No pintar nunca el detector de humo.
- Los detectores de humo solamente reconocen el humo de un incendio, y no la llama misma.
- Los detectores de humo no apagan el fuego. En caso de alarma, localizar el foco del fuego y, si es necesario, avisar a los bomberos.
- Para la alimentación de tensión de los detectores no deberán usarse nunca baterías recargables (acumuladores) ni adaptadores o fuentes de alimentación de red. De esta forma se evitan riesgos de avería o funcionamiento incorrecto del detector.
- El detector de humo produce un sonido de alarma muy fuerte, y puede dañar el oído. Por esta razón, al realizar pruebas de funcionamiento deberá alejarse una distancia mínima de 50 cm del foco acústico.
- El detector de humo mantiene bajo vigilancia sólo una determinada zona del espacio donde se encuentra montado. Es preciso instalar un número suficiente de detectores para que la vigilancia cubra la totalidad del espacio protegido y obtener unas condiciones óptimas de protección.
- La alarma acústica puede pasar desapercibida a personas dormidas que se encuentran bajo la influencia del alcohol o de drogas.

**Lugar de montaje: [24]**

- La distancia mínima entre detectores y muros, vigas o similar será de 50 cm.
- La distancia mínima entre detectores y conductos o elementos cuya distancia al techo sea menor o igual a 15 cm debe ser también de 50 cm.

Para evitar falsas alarmas y errores de funcionamiento, los detectores de humo no deberán colocarse en los lugares siguientes:

- Lugares donde existe normalmente vapor de agua o polvo abundantes.
- Inmediaciones de fuentes de fuego y chimeneas.
- Inmediaciones de los conductos de ventilación, ya que, en determinadas condiciones, las corrientes de aire pueden impedir que el humo llegue al detector.
- Inmediaciones de lámparas fluorescentes o de bajo consumo, ya que los cebadores de arranque producen campos magnéticos al encender las lámparas, que pueden provocar el disparo de falsas alarmas (la distancia mínima debe ser de 50 cm).
- Recintos con temperaturas inferiores a  $+5^{\circ}\text{C}$  o superiores a  $+45^{\circ}\text{C}$ .

### **2.2.11. Sensor térmico**

También reciben el nombre de detectores de temperatura. Actúan por el estímulo de la elevación de temperatura provocada por el calor del incendio. [16]

#### **Clasificación**

Existe una gran variedad de modelos que es conveniente conocer, aunque no todos se encuentren comercializados en nuestro país: [16]

#### Temperatura fija o termostática:

- Metal eutéctico fusible.
- Ampolla de cuarzo.
- Lámina bimetálica.
- Cable termosensible.
- Cable de resistencia variable con la temperatura.

#### Termovelocimétricos:

- Cámara neumática
- Termoeléctricos.

- Electrónicos

### Combinados

### Compensados

#### 1. Detectores térmicos de temperatura fija o termostáticos

Actúan cuando el elemento detector llega a una temperatura predeterminada.

- Detectores térmicos de temperatura fija con metal eutéctico fusible

El elemento detector está formado por una pieza de aleación eutéctica (aquella que tiene una temperatura de fusión constante lo más baja posible) en forma de eslabón que bloquea un interruptor eléctrico hasta que se alcanza la temperatura de fusión y se cierra un circuito que activa la alarma. [16]

#### Aplicaciones

Además de activar una alarma, este dispositivo también se emplea para actuar sobre puertas cortafuegos, persianas o cortinas cortafuegos, compuertas cortafuegos en conductos de ventilación, válvulas de oleoductos, etc. Se fabrican para temperaturas de actuación, entre 70 °C a 225 °C. [16]

#### Ventajas

Temperaturas precisas de actuación.

#### Inconvenientes

En caso de incendio, al fundirse no es reutilizable.

- Detectores térmicos de temperatura fija con ampolla de cuarzo

El elemento detector está formado por una ampolla de cuarzo, conteniendo un líquido especial, que, al dilatarse por el calor, revienta y libera un muelle o varilla que cierra un circuito eléctrico y se activa la alarma. [16]

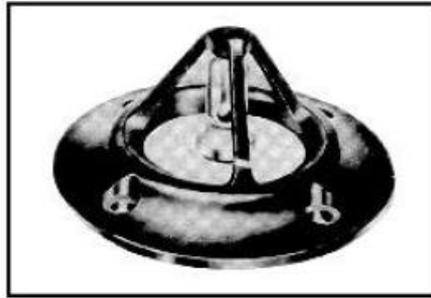


Figura 48. Detector térmico de temperatura fija con ampolla de cuarzo

Fuente: NTP 185. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España

Las aplicaciones, ventajas e inconvenientes son las mismas del tipo anterior.

- Detectores térmicos de temperatura fija con lámina o membrana bimetálica

El elemento detector es una lámina o membrana formada por dos metales con distinto coeficiente de dilatación, que al aumentar la temperatura se deforma hacia un contacto fijo, cerrando el circuito eléctrico y activando la alarma. En la figura se esquematiza el modelo de membrana. [16]

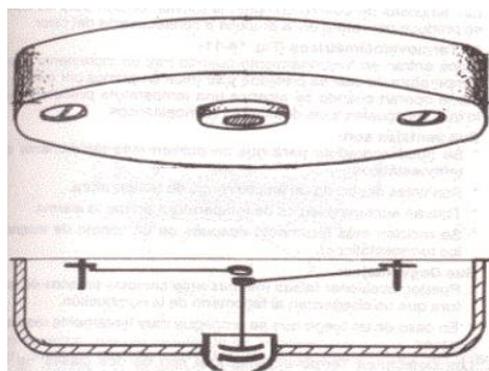


Figura 49. Detector térmico de temperatura fija con lámina

Fuente: NTP 185. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España

#### Aplicaciones

Las mismas que los tipos anteriores.

#### Ventajas

Según modelos se puede graduar la temperatura de actuación, o al menos pregraduarse ésta. Son reutilizables, aunque se recomienda que se comprueben los termostatos de los detectores situados en las inmediaciones del incendio. [16]

#### Inconvenientes

El de lámina bimetálica, en lugares con vibraciones, puede hacer contacto antes de la temperatura de tarado. No son recomendables para locales de altura superior a 7,6 m.

- Detectores térmicos de temperatura fija con cable termosensible

Reaccionan en cualquier tramo que le llegue el calor. Consisten en dos conductores metálicos tensados y separados entre sí por un aislamiento termofusible y todo el conjunto recubierto con una envoltura protectora de golpes y roces. A una temperatura determinada por la graduación del detector, se funde el aislamiento y los dos conductores entran en contacto, activándose la alarma. [16]

#### Aplicaciones

Adecuadas para locales con temperatura ambiente superior a la normal. Protección de instalaciones industriales.

## Ventajas

Facilidad de instalación y mantenimiento. Fiabilidad y estabilidad de funcionamiento.

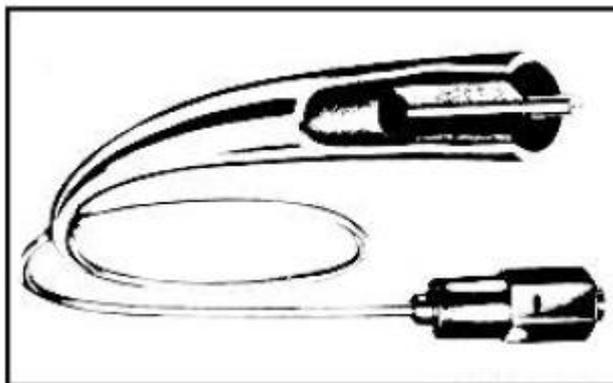


Figura 50. Detector térmico de temperatura fija con cable termosensible  
Fuente: NTP 185. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España

## Inconvenientes

El tramo de cable afectado por el incendio debe cambiarse. Existe una variante de este tipo de detector en la que, en vez de los dos conductores, se utiliza un tubo metálico de aleación especial y en su interior un cable de níquel, separados ambos por una sal de bajo punto de fusión, sensible al calor.

Al ocurrir un incendio esa sal disminuye su resistencia y pasa la corriente entre el conductor de níquel y el tubo exterior. El panel de control detecta esta corriente y activa una alarma.

- Detectores térmicos de temperatura fija con cable de resistencia variable con la temperatura

Se basan en que el sobrecalentamiento o fuego directo percibido por un tramo del cable detector hace disminuir su resistencia eléctrica, lo cual traduce en un aumento de la corriente eléctrica, que activa una alarma cuando se llega a un valor determinado. Este valor se puede alcanzar por una gran

elevación de temperatura en un tramo corto o una menor elevación que afecte a un tramo más largo. [16]

#### Aplicaciones

Para protección de bandejas de cables, túneles con diversos equipos, zonas de acceso y vigilancia difícil, y donde exista riesgo de corrosión, contaminación o polvo.

#### Ventajas

Ofrece detección continua a lo largo de todo su recorrido y vida es ilimitada

## 2. Detectores Termovelocimétricos

Reaccionan cuando la temperatura aumenta a una velocidad superior a un cierto valor (de 5 °C a 10 °C por minuto).

Estos detectores se basan en la diferencia de respuesta de dos elementos o componentes del dispositivo sensor ante un aumento de temperatura superior a un nivel determinado. [16]

#### Aplicaciones

Adecuados para locales donde se pueda esperar una combustión rápida, por ejemplo, de hidrocarburos. No es adecuado para almacenes, hangares, escuelas u otros locales en que se abren puertas y se enfría el local y luego actúa el termostato de la calefacción, elevando rápidamente la temperatura.

#### Ventajas

De construcción sencilla, robustos, resistentes a los choques, vibraciones, ambientes salinos, polvo, humedad y ácidos.

Pueden graduarse para que reaccionen antes que los termostáticos. Eficaces dentro de una gama muy amplia de temperaturas. Revisión y puesta en servicio más rápida que los termostáticos.

### Inconvenientes

Falsas alarmas ante aumentos rápidos de temperatura no producidos por incendios. Posibilidad de que no reaccionen con fuegos de propagación muy lenta.

Las aplicaciones, ventajas e inconvenientes, pueden considerarse comunes a todos los tipos existentes. Se indican a continuación aquellas especificaciones propias de cada uno de los tipos de detectores termovelocimétricos.

- Detectores termovelocimétricos de cámara neumática o aerotérmicos.

En estos detectores el aumento de temperatura provoca la expansión del aire contenido en una cámara interior del detector provista de un diafragma flexible.

En la siguiente figura se muestra el funcionamiento de un detector de este tipo con dos cámaras. Esas cámaras B se deforman en el diafragma flexible superior C al dilatarse el aire contenido en el sistema, siempre que el aumento de temperatura sea rápido. Si es lento, el aire se escapa por los respiraderos del tubo capilar F. Con la deformación hacen contacto los elementos C y D que cierran el circuito y se activa la alarma. [16]

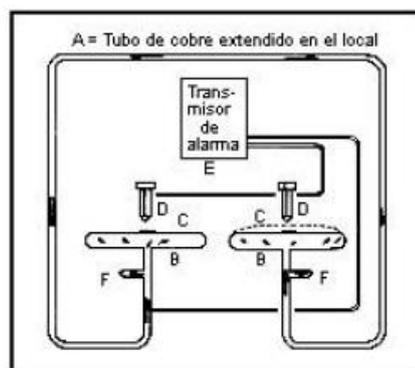


Figura 51. Detector termovelocimétrico aerotérmico de tubo y cámara neumática

Fuente: NTP 185. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España

En otros modelos, en vez de cámara de expansión de aire como elemento sensor se emplea un tubo de cobre de pequeño diámetro y gran longitud que se distribuye por el local a proteger, y con sus dos extremos conectados al diafragma de la unidad receptora (Fig. 72). Este modelo es esencialmente adecuado para zonas de riesgo en sótanos y edificios con calefacción. También sirve para conectar a sistemas automáticos de extinción. [16]

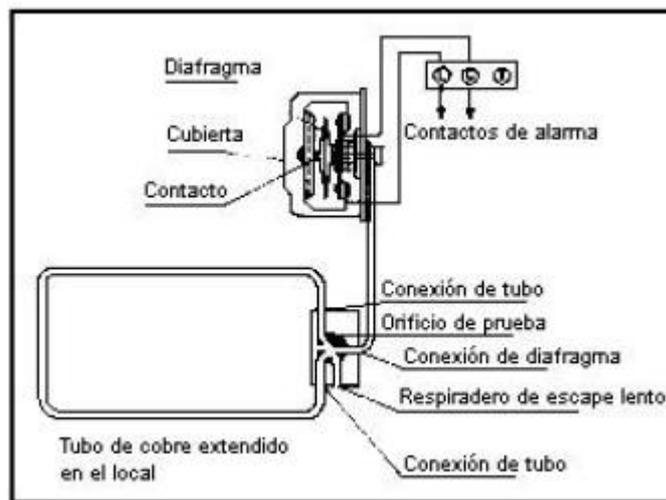


Figura 52. Detector termovelocimétrico aerotérmico de tubo neumático  
Fuente: NTP 185. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España

- Detectores termovelocimétricos termoelectrónicos

Se basan en el principio de generación de corriente eléctrica por el efecto termopar.

Dos grupos de termopares se montan generalmente en un solo alojamiento, dispuesto de tal modo que un grupo está expuesto al calor, mientras que el otro está protegido.

Cuando se produce una diferencia de temperatura entre los dos grupos de termopares, se genera una corriente eléctrica y da la señal de alarma. [16]

- Detectores termovelocimétricos electrónicos

Se basan en ciertos compuestos metálicos que varían su resistencia eléctrica con la temperatura. Se emplean normalmente combinados con los de temperatura fija. [16]

### 3. Detectores térmicos combinados

Son una combinación del tipo termostático y termovelocimétrico. El elemento termostático actúa solamente cuando el termovelocimétrico no ha actuado.

El calor del incendio expande el aire de la cámara A a mayor velocidad que el que se escapa por el orificio B. Esto hace que la presión empuje el diafragma C, cerrando el circuito eléctrico entre el contacto D y el tornillo de regulación E, que está aislado eléctricamente de la base del detector.

La actuación por elevación lenta de la temperatura sucede cuando la aleación fusible F se funde a una temperatura conocida según la especificación del material y se libera el resorte G, el cual presionará el diafragma y cerrará los contactos indicados anteriormente. [16]

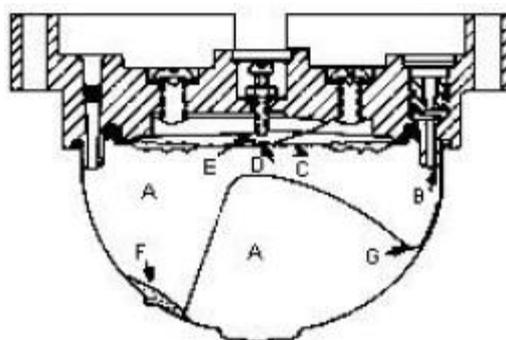


Figura 53. Detector térmico combinado

Fuente: NTP 185. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España

Otro modelo incluido en este grupo es el electrónico.

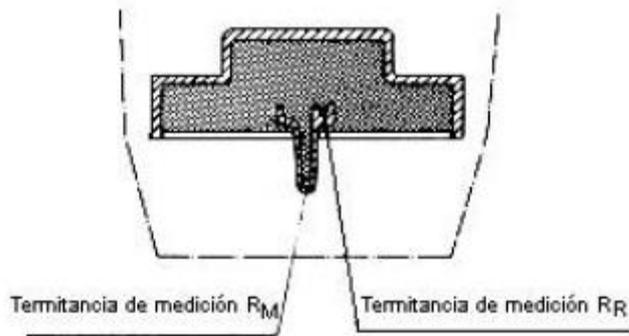


Figura 54. Detector térmico combinado electrónico

Fuente: NTP 185. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España

Se basa en la propiedad de ciertos compuestos metálicos de variar su resistencia eléctrica con la temperatura. Se les conoce con el nombre de termistancias o termistores. [16]

En el modelo de la figura el sensor del detector se compone de dos termistancias conectadas en serie. La termistancia de medición  $R_M$  está en contacto con el ambiente de la zona a proteger y la termistancia  $R_R$  está encapsulada y aislada del ambiente. [16]

Un incremento rápido de la temperatura provocado por un incendio es captado Inmediatamente por la termistancia exterior de medición  $R_M$ , que disminuye su resistencia con más rapidez que la termistancia interior de referencia  $R_R$ . Esto hace variar la tensión eléctrica en la zona del circuito situado entre las dos termistancias y al llegar a un determinado valor actúa la alarma (efecto termovelocimétrico). [16]

Si la temperatura ambiente aumenta lentamente, las resistencias de las termistancias  $R_M$  y  $R_R$  disminuyen al mismo tiempo y no varía la tensión eléctrica anterior. Al alcanzar una temperatura

máxima, fijada de antemano, actúa la alarma (efecto termostático).

#### Aplicaciones

Protección de locales e instalaciones con posibilidad de incendios de desarrollo rápido y lento. Locales e instalaciones con humos o vapores que afectarían a detectores de humos.

#### Ventajas

Campo de aplicación muy amplio. Gran sensibilidad de reacción. Estabilidad excepcional. Resiste cambios atmosféricos y la corrosión.

#### Inconvenientes

Si no están bien calibrados pueden verse afectados y dar falsas alarmas por calefacciones, insolación en cubiertas no aisladas, etc.

### 4. Detectores térmicos compensados

Son sensibles a la velocidad de incremento de temperatura y a una temperatura fija determinada igual que los termovelocimétricos y termostáticos. Se les da este nombre porque compensan el retraso en la actuación del detector de temperatura fija y las posibles falsas alarmas y el riesgo de no actuar ante incendios de desarrollo lento en el detector termovelocimétrico. [16]

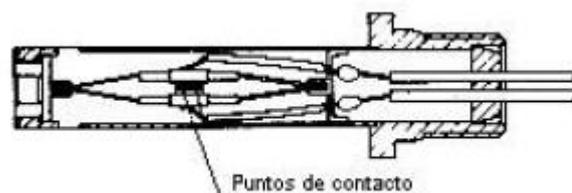


Figura 55. Detector térmico compensado

Fuente: NTP 185. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España

Dispone de dos contactos metálicos formando parte de un circuito eléctrico, los cuales están solidariamente unidos, pero aislados eléctricamente de unas varillas sometidas a compresión, las cuales tienen un coeficiente bajo de dilatación y todo montado dentro de una funda de acero inoxidable. El coeficiente de dilatación de esta funda es mayor que el de las varillas. [16]

Un aumento rápido de la temperatura del aire ambiente en la zona del incendio hace que la funda se caliente y expanda más rápidamente que las varillas, a las que tarda más en llegar el calor del incendio. Con esta diferencia de dilataciones, disminuye la compresión de las varillas y los contactos metálicos se acercan y tocan, cerrando el circuito eléctrico y transmitiendo una señal al panel de control que hace sonar la alarma. [16]

Si la elevación de temperatura ocurre lentamente (de 0° a 5° C por minuto), el calor tiene tiempo de penetrar a las varillas interiores y el calentamiento de funda y varillas está compensado. La funda y las varillas se expanden hasta el momento en que los contactos se tocan, que es a la temperatura de tarado del detector. [16]

Este tipo de detector se fabrica para disposición vertical (el detallado en la figura) u horizontal.

### **Aplicaciones**

Además de activar una alarma puede utilizarse para disparar un sistema automático de extinción.

El tipo horizontal para proteger locales comerciales, industriales y edificios públicos. También se puede emplear en combinación con un sistema de rociadores automáticos para detectar sobrecalentamiento y actuar una alarma.

El tipo vertical se emplea también en transformadores a la intemperie, en tanques de combustible y especialmente en situaciones que requieren protección antideflagrante.

#### Ventajas

Auto-rearmable sin reemplazar piezas, resistente a choques y vibraciones, disponibles para una gama amplia de temperaturas de tarado, de larga duración, coste económico por su amplio espaciado, herméticamente sellado protegiendo el mecanismo interno y virtualmente elimina falsas alarmas.

#### **Lugar de montaje del detector térmico: [16]**

- La distancia mínima entre detectores y muros, vigas o similar será de 50 cm
- La distancia mínima entre detectores y conductos o elementos cuya distancia al techo sea menor o igual a 15 cm debe ser también de 50 cm.
- Todo muro, tabique o estantería de almacenamiento que llegue a menos de 30 cm del techo, deberá considerarse como si llegará al techo y las secciones delimitadas por ellos como locales separados.
- Los detectores deben estar libres de obstáculos en una zona de 50 cm a su alrededor (lateral y verticalmente).
- No deben instalarse en corrientes de aire procedentes de las instalaciones de aire acondicionado, ventilación o climatización. Si han de montarse a menos de 1 m de cualquier entrada de aire o en puntos donde la velocidad del aire sea mayor de 1 m/s, deberá prestarse especial atención a los efectos de la corriente de aire sobre el detector.
- En todos los locales donde la inclinación de la cubierta supere los 20° y en los que la cubierta constituye a su vez el techo, deberá instalarse una hilera de detectores en el plano vertical que pasa por la cumbrera o en la parte más alta del local.

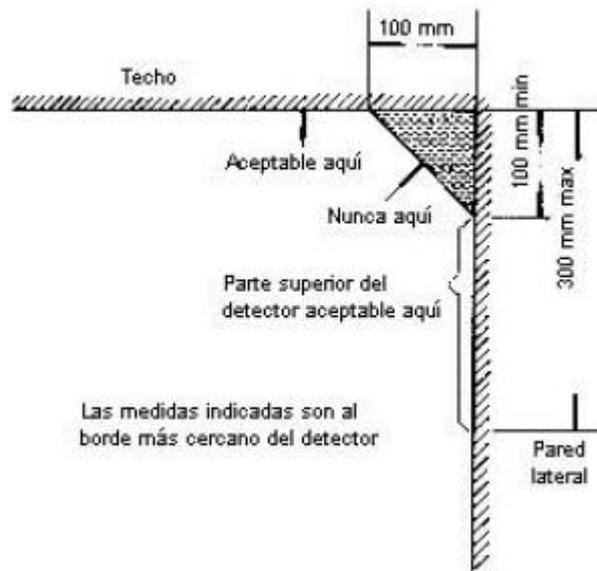


Figura 56. Localización de los detectores térmicos

Fuente: NTP 185. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España

### 2.2.12. Sensor de presión diferencial

La presión diferencial se define como la diferencia de las medidas de la presión entre dos puntos en un sistema.

La presión diferencial por lo general mide el cambio en la presión de los gases o líquidos. Es la fuerza por unidad de área. También se puede considerar como la fuerza requerida para evitar que un fluido se expanda. [16]

El sensor de presión diferencial se utiliza para controlar la presión en sistemas de ventilación en presión constante. Permiten la lectura de la diferencia de presiones entre dos puntos y la transforman en una señal eléctrica apta para los diferentes equipos de control. [16]



#### CHARACTERISTICS

- Very simple installation
- 8 selectable pressure ranges
- -50 to +50 Pa
- 0-100/150/300/500/1000/1600/2500 Pa
- Selectable, automatic signal damping
- Stable output signal
- 0-10/2-10 VDC or 0-20/4-20 mA selectable
- Temperature linear -20 to +40°C
- 3-wire connection
- Opened without tools

Figura 57. Sensor de presión diferencial

Fuente: Catálogo de sensores industriales CALECTRO

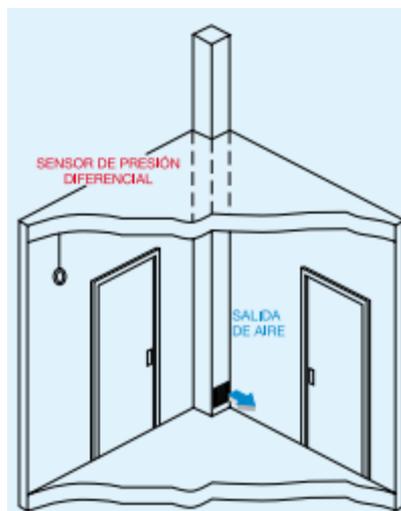


Figura 58. Ubicación del sensor de presión diferencial en un sistema presurizado

Fuente: Manual práctico de ventilación. Soler y Palau. Madrid

### **2.2.13. Automatización del proceso**

La automatización de los procesos es la sustitución de tareas tradicionalmente manuales por las mismas realizadas de manera automática por máquinas, robots o cualquier otro tipo de automatismo. La automatización tiene ventajas muy evidentes en los procesos industriales. Se mejora en costos, en servicio y en calidad. [29]

El trabajo es más rápido y no necesita de una cantidad determinada de operarios, que antes eran necesarios. Además, se producen menos problemas de calidad por realizarse el trabajo de una manera más uniforme debido a las especificaciones dadas al automatismo. Otras ventajas se obtienen de la automatización son el aumento de producción, menor gasto energético, mayor seguridad para los trabajadores. [29]

#### **Etapas para la automatización**

Las etapas que se deben seguir para la instalación de un automatismo son: [29]

- 1.- Análisis del proceso. Se trata de estudiar el proceso completo y buscar puntos de mejora (preferiblemente en el cuello de botella).
- 2.- Búsqueda de soluciones: Hay que buscar elementos sustitutivos para la situación actual: robótica industrial, maquinaria, variadores de velocidad, diferentes tipos de automatismos.
- 3.- Estudiar los costes de la inversión: Hay que ver cuál de las soluciones nos aporta un retorno de la inversión más rápido, la solución más amortizable, estudiar los costos de los posibles despidos. El beneficio económico y social debe ser mayor que el costo de operación y mantenimiento.

- 4.- Instalación: Una vez elegida la solución hay que asegurar su correcta instalación y puesta a punto. Este proceso es delicado porque de él depende en gran medida un resultado óptimo del desarrollo.
- 5.- Formar al personal en la mejora: es posible que haya pequeñas reparaciones, rearmes, cambios de herramientas, etc. que pueda realizar un operario. Para ello tendrá que estar formado en la tecnología implementada.
- 6.- Comprobación: Una vez que el automatismo está en marcha debemos comprobar que funciona como deseamos.

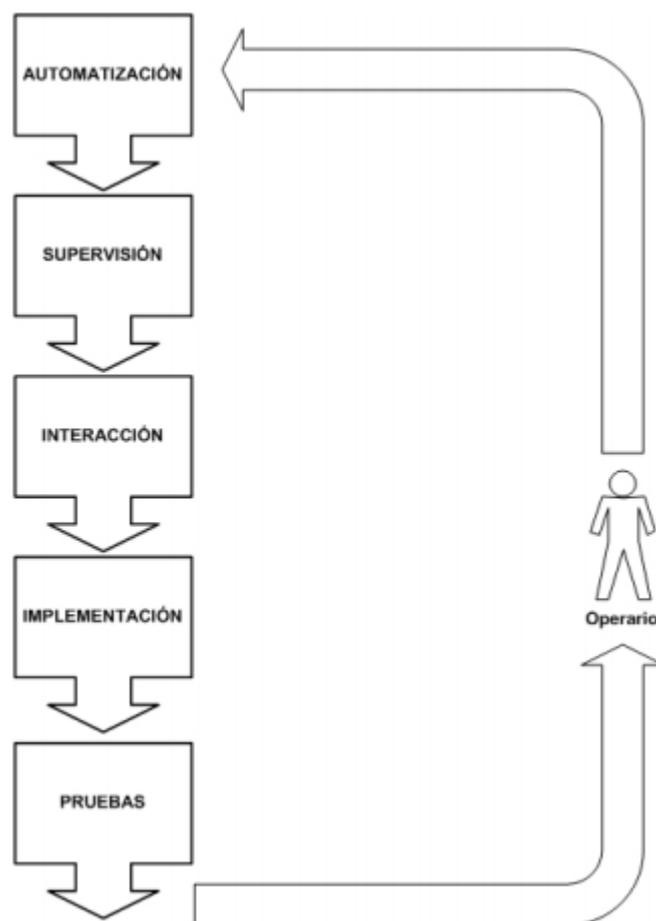


Figura 59. Fases de un proceso de automatización

Fuente: Diseño industrial. Universidad Politécnica de Catalunya

### III. DISEÑO

#### 3.1. Definición de características

##### Sistema de presurización

Para impedir el ingreso de humos calientes y venenosos se presuriza el NÚCLEO VERTICAL o vano de escalera. De esta forma se asegura la respirabilidad del aire de la escalera, para poder realizar la evacuación de los ocupantes del edificio y permitir la supervivencia de estos frente a un incendio.

En el caso de incendio, el sistema de control automático, gobernado por el variador de velocidad, recibe información de la presencia de humo y comandará la actuación y regulación del ventilador centrífugo de presurización de la escalera.

##### Clasificación de sistemas de presurización

El control de humo mediante un diferencial de presión establece la clasificación de sistemas, según requisitos técnicos y condiciones de diseño; para facilitar su aplicación en un edificio, de acuerdo a la Norma UNE 12101-6.

Clase de sistema	Ejemplos de uso
Sistema de clase A	Para medios de escape. Defensa in situ
Sistema de clase B	Para medios de escape y lucha contra incendios
Sistema de clase C	Para medios de escape mediante evacuación simultánea
Sistema de clase D	Para medios de escape. Riesgo de personas dormidas
Sistema de clase E	Para medios de escape, con evacuación por fases
Sistema de clase F	Sistema contra incendios y medios de escape

Tabla 5. Clases de sistemas de presurización

Fuente: Ventilation Group, Manual práctico de ventilación. México

Para determinar el caudal necesario para la sobrepresión determinamos en primer lugar la clase de sistema en función del uso del edificio y en función del uso del mismo, conforme a la tabla anterior de la citada norma. En este caso se parte de la base que se puede considerar un sistema de clase C, basado

en el supuesto de que todos los ocupantes del edificio sean evacuados simultáneamente al activarse la señal de alarma de incendio.

En caso de evacuación simultánea, se considera que las escaleras se encontrarán ocupadas durante el período de evacuación, quedando, tras dicha fase, libres de personas. Por consiguiente, la evacuación se completará, durante las primeras fases de desarrollo del incendio, período inicial durante el cual puede aceptarse cierta fuga de humo hacia la escalera, hasta que el flujo de aire aportado por el sistema de presurización proceda a eliminar dicho humo.

Se supone que los ocupantes que estén siendo evacuados se mantienen atentos y preparados, y conocen el entorno en que se mueven, minimizándose así el tiempo de permanencia de los mismos en el edificio.

Se tienen tres criterios para el sistema de presurización de escaleras:

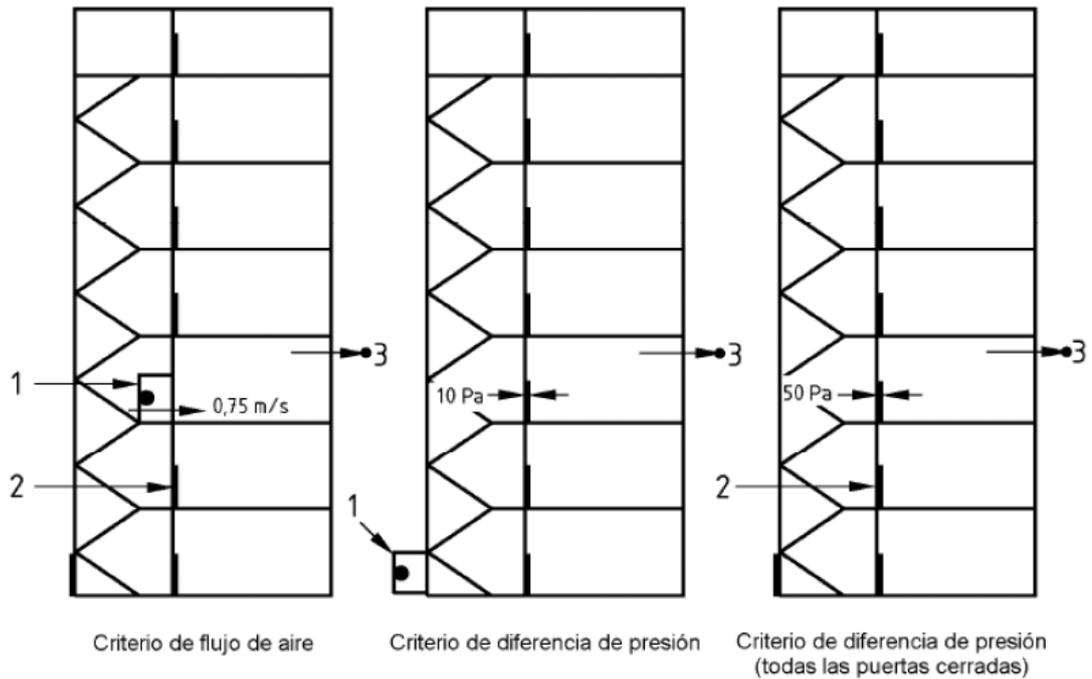
1. Criterio de flujo de aire:

La velocidad del flujo de aire a través de la puerta entre un espacio presurizado y el área de alojamiento no debe ser inferior a 0,75 m/s siempre que:

- a) Estén abiertas, en el piso del incendio, las puertas entre el alojamiento y la escalera presurizada y el vestíbulo;
- b) Estén abiertos los trayectos de escape de aire al exterior desde el alojamiento, en la planta afectada, en la que se realice la medición de la velocidad del aire;
- c) Permanezcan cerradas todas las demás puertas excepto las de la planta siniestrada.

En la siguiente figura se muestra el criterio de flujo de aire donde se observa que solo la puerta que conecta la caja de escaleras con el área de

alojamiento en la planta afectada está abierta a través de la cual la velocidad mínima del flujo de aire es de 0,75 m/s.



Leyenda: 1 Puerta abierta, 2 Puerta cerrada, 3 Aberturas de escape aire.

Figura 59. Ejemplos gráficos de los requisitos del sistema Clase C

Fuente: Ventilation Group, Manual práctico de ventilación. México

## 2. Diferencia de presión

La diferencia de presión a ambos lados de una puerta cerrada entre el espacio presurizado y el área de alojamiento debe tener el valor indicado en la siguiente tabla:

En la figura 91 se muestra el criterio de diferencia de presión donde se observa que únicamente la puerta de salida del edificio está abierta. La diferencia de presión entre la caja de escaleras y el área de alojamiento es de 10 Pa.

Posición de las puertas	Valor mínimo de la presión diferencial a mantener, min.
i) Las puertas entre el área de alojamiento y el espacio presurizado están cerradas en todas las plantas	50 Pa.
ii) Todas las puertas entre la escalera presurizada y la salida final están cerradas	
iii) Las aberturas de escape de aire al exterior, desde el área de alojamiento en la planta incendiada en la que se mida la presión diferencial, están abiertas	
iv) La puerta final de salida está cerrada.	
v) La puerta final de salida está abierta, y se cumplen los apartados i) al iii) anteriores	10 Pa.
Nota: Se admite un margen de tolerancia de $\pm 10\%$ en la aceptación de los resultados de los ensayos.	

Tabla 6. Presiones diferenciales mínimas para los sistemas de Clase C

Fuente: Ventilation Group, Manual práctico de ventilación. México

Por otro lado, en la Figura 91 también se observa el criterio que todas las puertas están cerradas y que la diferencia de presión entre la caja de escaleras y el área de alojamiento es de 50 Pa. Es importante resaltar que deben cumplirse los requisitos de ambos casos.

### 3.2. Diseño del sistema

#### 3.2.1. Descripción Del Sistema

##### **Sistema de presurización de la escalera y ventilación de vestíbulos:**

Los vestíbulos previos de la escalera de evacuación, contarán con ventilación forzada; para lo cual se instalará un inyector y extractor axial en cada piso. Cada equipo tomará y descargará el aire a un ducto de mampostería que se ha previsto en el diseño arquitectónico. Se ha dejado un ducto de inyección de aire y otro de extracción de aire totalmente independiente y exclusivo para el sistema A y B. En cada vestíbulo, el extractor de aire se instalará en la parte superior de tal manera que su lado más alto esté a 15 centímetros del techo, se utilizará una rejilla de extracción de aire con dámper manual para balancear el caudal de aire en todos los pisos. El inyector de aire se instalará en la parte inferior de tal manera que su parte más baja esté a 15 centímetros del piso, se utilizará una rejilla de descarga de doble deflexión con dámper manual para balancear el caudal de aire en cada piso. Se tendrá especial cuidado en no tapar estas rejillas ni con la puerta u otro

objeto que impidan el ingreso y salida del aire en cada vestíbulo previo. Debido a que el edificio cuenta con 11 pisos, se ha previsto además de un inyector centrífugo para pre inyectar el aire al ducto de inyección del sistema, de tal manera que cada inyector axial tome aire con cierta presión y lo descargue al vestíbulo. Para el sistema de extracción también se ha previsto la instalación de un extractor centrífugo, que ayude a la descarga de cada extractor axial. Esto es porque los ventiladores axiales de bajo nivel de ruido por diseño no vencen mucha caída de presión.

La caja de la escalera será presurizada mediante un inyector de aire centrífugo el cual descargará un flujo de aire de diseño a la caja de la escalera. El inyector tendrá filtros de aire y la presión a mantener en la caja de la escalera será de 0.1 pulgadas de columna de agua.

La presión dentro de la caja de la escalera, será controlada por dos sensores diferenciales de presión los cuales enviarán señal analógica de 4-20mA al variador de velocidad del motor del inyector. La señal enviada de los sensores de presión será tomada en promedio por el variador de velocidad, quien finalmente regulará la velocidad del motor adecuada (con esto se varía el caudal de aire y presión) a fin de mantener el diferencial de presión fijado.

Un dámper barométrico (de alivio) se instalará en el techo de la caja de cada escalera, el cual se aperturará si la presión sobrepasa el valor mencionado. El caudal de aire total de descarga en caja de escalera se determinará aplicando la fórmula de Bernoulli.

La alimentación eléctrica a los ventiladores centrífugos de los vestíbulos y los del tipo axial en cada piso, vendrá del tablero de fuerza vía tablero de control ubicados en la azotea. El sistema de presurización de escaleras y ventilación de vestíbulos arrancará en forma automática, por una señal del sistema de seguridad del edificio cuando se genere un evento de incendio en el edificio. El suministro de energía necesario para el funcionamiento de los ventiladores deberá ser protegido contra incendios con una resistencia no menor a 2 horas y deberá ser abastecido de una fuente secundaria. El inyector de aire de la escalera y el ducto que sirve para

canalizar la inyección de aire a los vestíbulos llevaran un sensor de humo cada uno. En caso que estos sensores detecten humo, el sistema centralizado de seguridad contraincendios hará apagar los equipos. Para propósitos de pruebas operativas, el sistema podrá ser arrancado manualmente desde el selector manual-automático en tablero de control. En la posición “automático” el sistema de ventilación estará apagado a la espera de la señal del sistema de seguridad para que arranque. El selector solo tendrá dos posiciones: manual y automático.

El cálculo de los caudales de extracción e inyección a los vestíbulos; y la inyección de aire a la caja de la escalera se ha realizado en base a los criterios de la NFPA 101 y las últimas modificaciones del Registro Nacional de Edificaciones (RNE) del 9 de mayo del 2014 mediante decreto supremo N° 005-2014.

### **3.3. MEMORIA DE CÁLCULO.**

#### **3.3.1 CAUDAL DE AIRE**

**Sistema de presurización de escalera y vestíbulo previo:** Se calculará de acuerdo Reglamento Nacional de Edificaciones vigente, capítulo VI, artículo 26. B1 solución D (modificado el contenido de las normas técnicas A010, el 09 de mayo del 2,014 con decreto supremo N° 005-2014) y la Norma NFPA 101 Capítulo 7.

#### **VESTIBULOS**

- a. El vestíbulo deberá de contar con por lo menos un cambio por minuto
- b. La extracción de aire en el vestíbulo deberá ser el 150% de la inyección de aire del vestíbulo.

#### Caudal de extracción en cada vestíbulo:

Vestíbulo típico:

Área : 7.095m<sup>2</sup>

Altura : 2.5m

Volumen :  $17.73\text{m}^3 = 626.13\text{pie}^3$

Considerando un cambio por minuto, el caudal de aire de extracción será:  
 $626.13 \text{ pie}^3/\text{minuto}$ .

Se toma: 630 CFM

El caudal de inyección en cada vestíbulo:

Como el caudal de extracción es el 150% del caudal de inyección, mediante una regla de tres simples, el caudal de inyección es:  $630 \times 100 / 150 = 420 \text{CFM}$

Se toma: 420 CFM

Caudal total de extracción:

Número de pisos con vestíbulo previo : 11

Caudal de extracción : 630 CFM

Caudal total extracción vestíbulos :  $11 \times 630 = 6930 \text{CFM}$  valor referencial, ya que se utilizarán extractores axiales de aire por la cantidad de pisos.

Caudal total de inyección:

Número de pisos con vestíbulo previo : 11

Caudal de inyección : 420 CFM

Caudal total inyección vestíbulos :  $11 \times 420 = 4620 \text{CFM}$

Se observa que la relación del área de la sección de la escalera con la del vestíbulo es de 0.72, estando bastante elevado, ya que el mínimo con la condición de que permita el acceso y maniobra de una camilla de evacuación recomendado por el RNE norma A.010 es 0.33. Esto hace que los caudales de aire de ventilación sean bastantes alto y que se tengan que seleccionar equipamiento de alto caudal. Un vestíbulo de menor área permitirá el manejo de menor caudal de aire de ventilación y por consiguiente equipos de menor potencia.

## CAJA DE ESCALERA

Para escaleras de edificios residenciales o multifamiliares, entre 6 y 10 pisos, el caudal de aire de inyección a la caja de la escalera, mínimo recomendado por el RNE es de 2,500 CFM y la presión a mantener será de 0.1 pulgadas de columna de agua. Para edificios de altura mayor el caudal de aire se calcula piso por piso utilizando la ecuación de Bernoulli, el diferencial de presiones es el mismo.

$$Q_{pc} = 2610 \times A \times \sqrt{\Delta P}$$

Donde:

$Q_{pc}$  = Caudal de aire en intersticios de cada puerta: CFM

$A$  = Área de intersticios o brecha: pie<sup>2</sup>

$\Delta P$  = Diferencial de presión entre caja de escalera y el exterior: pulg. c.a.

Cálculo del caudal de aire de inyección a caja de escalera:

Datos:

Número de pisos : 11

Tamaño de puerta : 1m de ancho x 2.10m de alto

$\Delta P$ : 0.10 pulg. de columna de agua

Intersticios o brecha entre marco y hoja de puerta: 4mm

Área de intersticios o brecha:  $A=0.29$ pie<sup>2</sup>

$$Q_{pc} = 2610 \times 0.29 \times \sqrt{0.10} = 239.35 \text{ CFM por piso}$$

Caudal total a inyectar en caja de escalera:  $11 \times 240 = 2640$  CFM.

### 3.3.2. DISPONIBILIDAD DE PRESIÓN DEL EXTRACTOR CENTRÍFUGO.

Ducto de inyección de aire a caja de escalera:

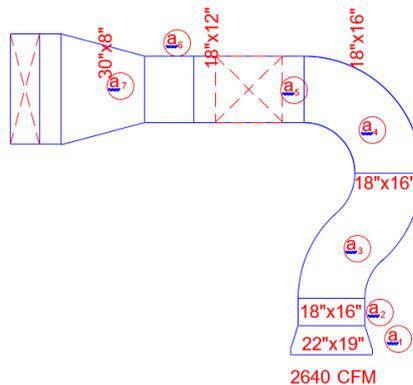


Fig. 61. Recorrido de ductos de inyección a caja de escalera

### **3.4. Especificaciones Técnicas**

#### **3.4.1. INYECTOR DE AIRE CENTRÍFUGO PARA ESCALERA PRESURIZADA**

En el nivel de la azotea, encima de la escalera, en lugar marcado en planos se instalarán los ventiladores centrífugos:

- 01 ventilador centrífugo de inyección de aire para caja de escalera.
- 01 ventilador centrífugo de inyección de aire conectado al ducto de mampostería de toma de aire de inyección de los ventiladores axiales de los vestíbulos.
- 01 ventilador centrífugo de extracción conectado al ducto de mampostería de extracción de aire de los ventiladores axiales de los vestíbulos.

Los ventiladores serán de gabinete con impelente centrífugo de doble entrada y doble ancho cuyas aletas serán inclinadas hacia adelante, será balanceado estática y dinámicamente en fábrica como un solo conjunto con su eje.

El eje será de acero e irá apoyado en chumaceras con rodamientos de lubricación permanente que estará montado rígidamente en la estructura metálica. Estos rodamientos serán para trabajo pesado, autoalineantes y seleccionados para una duración de 80,000 horas funcionando a la velocidad del rotor especificada.

El rodete será construido de aluminio y la carcasa con planchas de acero galvanizado. El rodete estará unido mecánicamente a su eje por medio de chaveta.

El rotor será accionado mediante motor eléctrico a través de fajas y poleas siendo la polea motriz de paso variable; el motor deberá tener base metálica con tensor de fajas y guarda fajas de acero galvanizado en fábrica.

El motor será seleccionado, de tal manera que en ningún momento sobrepase el amperaje de placa.

El gabinete será insonorizado el máximo nivel de ruido permitido será de 65 Dba a 1 metro del equipo.

Datos para selección del ventilador centrífugo:

Inyección a la escalera:

- Tipo : En línea, doble entrada con gabinete
- Caudal : 2640 CFM = 4490 m<sup>3</sup>/h
- Disp. Presión estática : 1.5” de columna de agua.
- Rodete : Centrifugo con álabes curvados hacia adelante
- Motor : Trifásico con potencia superior al BHP del equipo.
- Caract. Eléct. : 220V-3Ø-60Hz
- Cantidad : 01
- Nivel de ruido : 74 dba, máximo medido a 1m del equipo.

Inyección aire general a los vestíbulos:

- Tipo : En línea, doble entrada con gabinete
- Caudal : 4620 CFM = 7850 m<sup>3</sup>/h
- Disp. Presión estática : 0.5” de columna de agua.
- Rodete : Centrifugo con álabes curvados hacia adelante
- Motor : Trifásico con potencia superior al BHP del equipo.
- Caract. Eléct. : 220V-3Ø-60Hz
- Cantidad : 01
- Nivel de ruido : 74 dba, máximo medido a 1m del equipo.

### **3.4.2. SENSOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN**

- Presentación en caja moldeada de plástico ABS de alto impacto. Construido bajo la clasificación IP65. Montaje de pared con dimensiones compatibles con las cajas dispositivo dejadas en obra. Con display digital que muestre la presión diferencial actuante.
- Funcionamiento bajo presión positiva, negativa y bajo un diferencial de presiones pre-establecido.

- Garantizado para funcionar continua y eficientemente por un mínimo de 05 años sin requerir re-calibración. Influencia de la temperatura exterior despreciable.

Especificaciones:

- Servicio : Aire y no combustible
- Requisitos de energía : 10-35VDC (2hilos)
- Señal de salida : 4 a 20 ma.
- Pantalla : LCD
- Conexiones : 1/8"
- Orientación : Para trabajo vertical
- Límites de temperatura: 20 a 120°F
- Rango de medición : 0 a 0.5" de columna de agua
- Cantidad : 02
- Marcas aceptadas : Dwyer serie DM-2003-LCD o similar.

### **3.4.3. VARIADOR DE FRECUENCIA**

El variador de frecuencia debe regular la salida para adaptarla continuamente a la carga de corriente del ventilador y así minimizar el consumo de energía.

El variador de frecuencia debe regular todos los tipos de motores estándar IEC o NEMA sin la carga y sin que la temperatura del motor exceda el valor habitual cuando está conectado a la red.

El variador de frecuencia deberá controlar al ventilador centrífugo que tiene torque variable es decir cuadrático o parabólico y cuyo sistema de transmisión de motor y ventilador es de fajas y poleas.

Tipo electrónico, con filtros contra armónicos, será seleccionado de tal manera que la potencia que soporta el variador sea superior en un 30% a la potencia nominal del motor.

Datos del Motor a accionar:

- Potencia del motor: Será un 30% mayor al BHP.
- Características eléctricas del motor: 220V-3Ø-60hz
- Tipo de motor: Motor eléctrico de inducción trifásico tipo jaula de ardilla
- Velocidad del motor: 1800RPM
- Sistema de transmisión: Fajas y poleas

Especificaciones del variador:

- Potencia : Superior en un 30% a la potencia del motor
- Caract. Eléct. : 220V-3Ø-60Hz
- Número de entradas analógicas : 02 El variador recibirá 02 entradas analógicas 4 a 20ma y controlará al motor con el promedio de las lecturas.
- Número de Salidas : 02 del tipo relé
- Protecciones : Para motor y variador
- Rampa de aceleración : Lineal, ajustable y en S.
- Protocolo de comunicación : Modbus
- Herramientas de configuración : Tendrá interfaz hombre - máquina con visualizador de 04 dígitos, y con acceso para Laptop
- Grado de protección : IP31 y IP41 en la parte superior
- Humedad relativa : 5-95% sin condensación ni goteo
- Temperatura de trabajo : -10 a 50°C
- Altura de trabajo : 0 metros a nivel del mar
- Filtro contra armónicos : Integrado
- Certificación : CE, UL, CSA
- Marca aceptada : Altivar 312 de Schneider o similar.

#### **3.4.4. DAMPER BAROMETRICO DE ALIVIO.**

Sera del tipo para instalación horizontal, diseñado para escaleras presurizadas, para un flujo de aire vertical, con brida para instalación desde el interior, las compuertas serán construidas con plancha de acero galvanizado de 1.5mm en marco robusto para trabajo en intemperie. Las compuertas pivotaran excéntricamente en

rodamientos de acero inoxidable. Tendrá unos contrapesos que permitirá regular el inicio de la apertura de las compuertas a presión desde 0.05" de columna de agua. Deberá ser listado y testeado por AMCA u organismo similar.

- Tamaño : 24"x24" sin marco
- Fabricación : Estructura de plancha de acero galvanizado de 1.5mm, con aletas de aluminio diseñadas para flujo horizontal.
- Eje de varilla excéntricamente pivoteado, diseñado para accionar a baja velocidad del aire.
- Rodamientos de bola lubricables para facilitar el giro del eje.
- Sellos de aletas de vinil para evitar fugas.
- Presión de inicio de apertura : 0.05" de columna de agua.
- Presión de apertura total : 0.13" de columna de agua.
- Máxima presión de trabajo : 2" de columna de agua.
- Velocidad del aire : 2,000 pies/min
- Temperatura máxima : 180°F
- Cantidad: : 1
- Certificación : AMCA u organismo similar.
- Marca recomendada : Greenheck, modelo BR-30 o similar.

### **3.4.5. INYECTOR Y EXTRACTOR DE AIRE DE LOS VESTIBULOS**

Serán del tipo axial o helicoidal para instalación en pared. El marco será de chapa embutida de acero galvanizado, los soportes de los motores serán soldados o atornillados al marco y dotados de una defensa de protección de pintura epoxi-poliéster. Las hélices o álabes serán de chapa de acero galvanizado con pintura poliéster, montadas directamente al motor.

El motor será monofásico en 220V - 60Hz, será del tipo de espira de sombra y rotor de jaula de ardilla, su temperatura de operación máxima será de 40°C, el rotor estará montado sobre cojinetes auto lubricados. Serán de bajo nivel de ruido siendo el máximo permitido de 58Db a un metro del equipo. El inyector de aire será seleccionado para un caudal de aire de 420CFM @ 0.15" de columna de agua y el extractor de aire será de 630 CFM @0.15" de columna de agua.

Datos para selección del inyector y extractor axial:

- Tipo : Axial pared
- Caudal : 420 CFM. Inyector
- Caudal : 630 CFM. Extractor
- Disp. Presión estática : 0.15” de columna de agua. Extractor
- Disp. Presión estática : 0.15” de columna de agua. Inyector
- Caract. Eléct. : 220V-1Ø-60Hz
- Nivel de ruido : 58 dba, máximo medido a 1m del equipo.
- Cantidad : 10 inyectores, 10 extractores

#### **3.4.6. REJILLA DE DESCARGA Y EXTRACCIÓN.**

Se suministrarán é instalarán en las dimensiones y lugares indicados en planos. Se fabricarán en acero galvanizado con pintura base “washprimer” y pintura esmalte de acabado, de acuerdo a las siguientes indicaciones:

- Rejillas de descarga de doble deflexión con barras direccionales regulables tanto las horizontales como las verticales.
- Rejillas de extracción de álabe fijo
- Todas las piezas se construirán con marco de acero galvanizado de 1/27” espesor y las aletas de plancha de 1/54.
- Tanto las rejillas de descarga como la de extracción llevarán dámper de álabes opuestos para regulación del caudal.
- Todas las piezas serán pintadas con pintura base “washprimer” y acabado con pintura acrílica anódica al horno del color que especifique el Propietario.

#### **3.4.7. DUCTOS METALICOS**

Se fabricarán e instalarán de conformidad con los tamaños y recorridos mostrados en los planos y en concordancia con la norma SMACNA (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association. Inc.). Contaran con soportes en su recorrido, máxima distancia entre soportes 1.80m. Se hermetizará y atornillará la conexión del ducto metálico al ducto de mampostería en azotea. Para la fabricación de los ductos y espesores de plancha se tendrá en cuenta el cuadro siguiente:

ANCHO DEL DUCTO	Espesor pulgadas	EMPALMES Y REFUERZOS
Hasta 12"	1/54	Correderas 1" a max - 2.38 m entre centros
13" hasta 30"	1/40	Correderas 1" a max - 2.38 m entre centros
31" hasta 45"	1/27	Correderas 1" a max - 2.38 m entre centros
46" hasta 60"	1/24	Correderas 1 1/2" a max - 2.38 m entre centros
Más de 61"	1/20	Correderas 1 1/2" a max - 2.38 m entre centros con refuerzo ángulo 1" x 1" x 1/8" entre empalmes

### 3.5. Selección de equipos

Se seleccionan los equipos de acuerdo a los requerimientos establecidos en el sistema:

#### 1. Ventilador centrífugo para inyección a la escalera

Teniendo en cuenta el caudal que es de 2640 CFM apróx. 4490 m<sup>3</sup>/h, se selecciona el siguiente equipo.

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)			Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)	Temperatura del aire (°C)		Peso aprox. (Kg)	Versión de Montaje
		220V	380V	660V			mín.	máx.		
CBXT-9/9-0,75	1050	2,5	1,45	0,55	2900	-20	+80	54,5	A	
CBXT-9/9-1	1070	3,3	1,90	0,75	3200	-20	+80	56,0	A	
CBXT-9/9-1,5	1260	4,5	2,59	1,10	3750	-20	+80	59,0	A	
CBXT-10/10-0,5	845	1,8	1,05	0,37	2950	-20	+80	55,0	A	
CBXT-10/10-0,75	845	2,5	1,45	0,55	3800	-20	+80	57,0	A	
CBXT-10/10-1	960	3,3	1,90	0,75	4175	-20	+80	58,5	A	
CBXT-10/10-1,5	1070	4,5	2,59	1,10	4800	-20	+80	61,3	A	
CBXT-10/10-2	1140	6,0	3,45	1,50	5400	-20	+80	64,0	A	

Tabla 7. Características de Ventilador Centrífugo.

Fuente: Sodeca QuickFan Selector

Se adjunta la ficha técnica en Anexos.

#### 2. Ventilador centrifugo para inyección de aire general al vestíbulo

Teniendo en cuenta el caudal que es de 4620 CFM apróx. 7850 m<sup>3</sup>/h, se selecciona el siguiente equipo.

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)			Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)	Temperatura del aire (°C)		Peso aprox. (Kg)	Versión de Montaje
		220V	380V	660V			mín.	máx.		
CBXT-12/12-1	765	3,3	1,90	0,75	5400	-20	+80	72,4	A	
CBXT-12/12-1,5	855	4,5	2,59	1,10	5800	-20	+80	75,3	A	
CBXT-12/12-2	965	6,0	3,45	1,50	6500	-20	+80	78,6	A	
CBXT-12/12-3	1180	8,4	4,85	2,20	7400	-20	+80	87,0	A	
CBXT-15/15-0,75	525	2,5	1,45	0,55	5900	-20	+80	85,0	B	
CBXT-15/15-1	595	3,3	1,90	0,75	6500	-20	+80	86,4	B	
CBXT-15/15-1,5	625	4,5	2,59	1,10	7500	-20	+80	89,3	B	
CBXT-15/15-2	670	6,0	3,45	1,50	8200	-20	+80	92,6	B	
CBXT-15/15-3	740	8,4	4,85	2,20	9500	-20	+80	101,0	B	

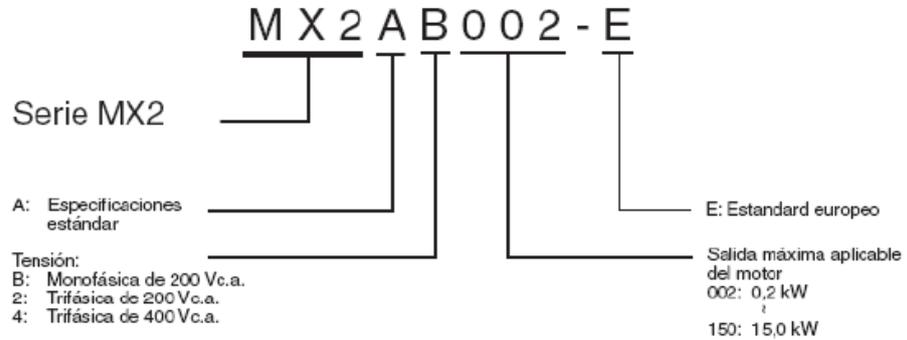
Tabla 8. Características de Ventilador Centrífugo.

Fuente: Sodeca QuickFan Selector

Se adjunta la ficha técnica en Anexos.

### 3. Convertidor de frecuencias (variador de velocidad)

Para la caja de ventilación, se selecciona el variador MX2 OMRON que cumple con las especificaciones requeridas para el sistema de sobrepresión.



#### Clase 400 V

		Trifásico: MX2										
		A4004	A4007	A4015	A4022	A4030	A4040	A4055	A4075	A4110	A4150	
Motor kW <sup>1</sup>	Para configuraciones VT	0,75	1,5	2,2	3,0	4,0	5,5	7,5	11	15	18,5	
	Para configuraciones CT	0,55	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0	5,5	7,5	11	15	
Características de salida	Capacidad del variador kVA	380 VT	1,3	2,6	3,5	4,5	5,7	7,3	11,5	15,1	20,4	25,0
		380 CT	1,1	2,2	3,1	3,6	4,7	6,0	9,7	11,8	15,7	20,4
		480 VT	1,7	3,4	4,4	5,7	7,3	9,2	14,5	19,1	25,7	31,5
		480 CT	1,4	2,8	3,9	4,5	5,9	7,6	12,3	14,9	19,9	25,7
	Corriente nominal de salida (A) en VT	2,1	4,1	5,4	6,9	8,8	11,1	17,5	23,0	31,0	38,0	
	Corriente nominal de salida (A) en CT	1,8	3,4	4,8	5,5	7,2	9,2	14,8	18,0	24,0	31,0	
	Tensión máxima de salida	Proporcional al voltaje de entrada: 0...480 V										
	Frecuencia de salida máx.	1.000 Hz <sup>2</sup>										
Alimentación	Tensión y frecuencia nominales de entrada	Trifásica de 380 a 480 V 50/60 Hz										
	Fluctuaciones de tensión admisibles	-15%...+10%										
	Fluctuaciones de frecuencia admisibles	5%										
Par de freno	Deceleración rápida <sup>3</sup> Realimentación del condensador	100%: <50 Hz 50%: <60 Hz				70%: <50 Hz 50%: <60 Hz		-				
		Método de refrigeración		Autorefrigerado		Ventilación forzada						

1. Basado en un motor estándar trifásico.
2. Por encima de 400 Hz hay algunas restricciones.

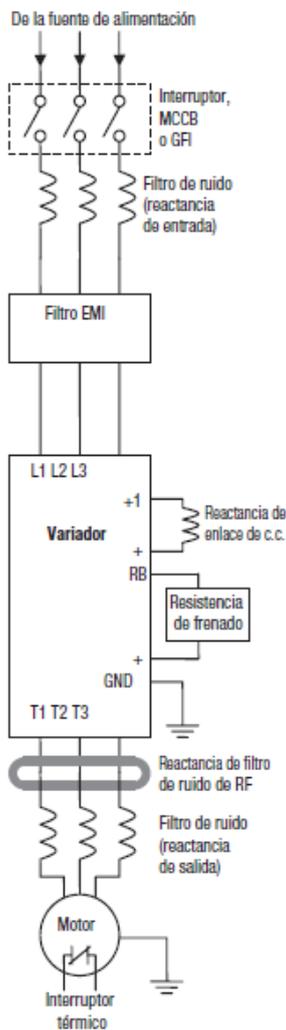
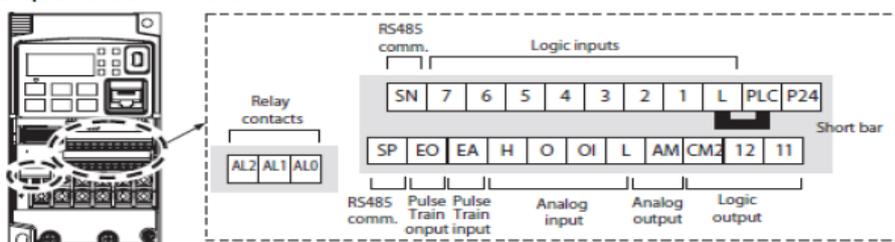
Tabla 9. Especificaciones técnicas de los variadores de velocidad MX2

Fuente: Guía rápida de programación de OMRON

Seleccionamos el variador de velocidad MX2 - A4015 – E

A continuación, se muestra la bornera de control y fuerza del variador MX2.

Esquema del bornero:



Nombre	Función
Interruptor/desconexión	Un interruptor automático de carcasa moldeada (MCCB), un interruptor automático diferencial (GFI) o un dispositivo de desconexión con fusible. NOTA: el instalador debe consultar las normas de aplicación nacionales para garantizar la seguridad y el cumplimiento.
Reactancia de c.a. de lado de entrada	Resulta útil para reducir la distorsión de armónicos de baja frecuencia en las líneas de suministro de alimentación y, como consecuencia, mejorar el factor de potencia. ADVERTENCIA: algunas aplicaciones deben usar una reactancia de c.a. en el lado de entrada para evitar daños en el variador. Consulte <i>Advertencia</i> en la página siguiente.
Filtro CEM (para las aplicaciones de CE, consulte el apéndice D)	Reduce el ruido conducido de alta frecuencia en el cableado de la fuente de alimentación entre el variador y el sistema de distribución de alimentación. Se conecta en el lado principal (entrada) del variador.
Reactancia de enlace de c.c.	Reduce los armónicos generados por la sección de accionamiento del motor del variador, mediante el suavizado de la demanda de corriente de los condensadores.
Resistencia de frenado	Se utiliza para disipar la energía regenerativa del motor que se acumula en el bus de c.c. cargando los condensadores y aumentando la tensión.
Filtro de salida de ruido de radio-frecuencia	Se pueden producir interferencias de ruido eléctrico en los equipos próximos, como un receptor de radio. Este filtro de reactancia magnética contribuye a reducir el ruido radiado de muy alta frecuencia (también se puede usar en la entrada).
Reactancia de c.a. de lado de salida	Esta reactancia en su tipo estándar (sólo inductor L) evita que la alta tensión procedente de la modulación PWM llegue al motor, compensando la capacidad de los cables del motor, especialmente con longitudes largas. Consulte a su distribuidor opciones más efectivas (y caras), como el filtro senoidal (para formas de onda de tipo red) o filtros $dV/dt$ .

Figura 62. Esquema general de conexionado del variador MX2

Fuente: Guía rápida de programación de OMROM

#### 4. Transmisor de presión diferencial

Se utilizan para controlar la presión en sistemas de ventilación en presión constante. Permiten la lectura de la diferencia de presiones entre dos puntos y la transforman en una señal eléctrica apta para los diferentes equipos de control.

Modelo	Alimentación	Consumo máximo (VA)	Ø Conectores (mm)	Salida	Índice de protección	Rango de presión	Dimensiones LxAxH (mm)
TDP-S	24VAC-24VDC	4	6,2	0-10 V / 4-20 mA	IP54	0-2500 Pa	75x36x80
TDP-D							

Tabla 10. Especificaciones técnicas del transmisor de presión diferencial

Fuente: Hojas técnicas. Soler & Palau Ventilation Group

Seleccionamos el transmisor de presión diferencial TDP – D con display.

#### 5. Detector de humo

El **detector de humo** es un elemento capaz de avisar de la existencia de humo en el ambiente con la posibilidad de un incendio

Para nuestra instalación, seleccionamos los detectores fotoeléctricos de humo Serie i3 de System Sensor por ser los de mejor calidad y probados en exigentes condiciones.

Se basan en los principios conceptuales de facilidad de instalación, inteligencia e inspección instantánea. El usuario puede elegir dentro de una gran variedad de modelos: Estándar, con señal acústica, con relé de contactos NA + NC y con sensor térmico.

Entre sus características, se puede mencionar: dispositivo enchufable en la base, tapa extraíble independiente, compensación de desvíos de lectura y algoritmos de transición, señalización luminosa verde y roja, señal remota de aviso de mantenimiento y medición simplificada de sensibilidad.



Figura 63. Detector de humo.

Fuente: Catálogo de detectores contra incendios. System Sensor

Modelo N°	Conexión	Térmico	Bocina Incorporada	Relé NA + NC	Voltaje de Operación	Corriente en Estado Pasivo	Corriente Máxima de Alarma
2W-B	2-Hilos	No	No	No	8.5-35 VCC	50 $\mu$ A	130 mA limitada por panel de control
2WT-B	2-Hilos	Sí	No	No	8.5-35 VCC	50 $\mu$ A	130 mA limitada por panel de control
4W-B	4-Hilos	No	No	No	8.5-35 VCC	50 $\mu$ A	23 mA
4WT-B	4-Hilos	Sí	No	No	8.5-35 VCC	50 $\mu$ A	23 mA
2WTA-B	2-Hilos	Sí	Sí	No	8.5-35 VCC	50 $\mu$ A	130 mA*
2WTR-B	2-Hilos	Sí	No	Sí	8.5-35 VCC	50 $\mu$ A	130 mA limitada por panel de control
4WTA-B	4-Hilos	Sí	Sí	No	10-35 VCC	50 $\mu$ A	35 mA
4WTR-B	4-Hilos	Sí	No	Sí	10-35 VCC	50 $\mu$ A	35 mA
4WTAR-B	4-Hilos	Sí	Sí	Sí	10-35 VCC	50 $\mu$ A	50 mA
4WITAR-B	4-Hilos	Aislado	Sí	Sí	10-35 VCC	50 $\mu$ A	50 mA

\* Con alimentación directa (sin inversión de polaridad), la corriente máxima en estado de alarma es 130 mA, limitada por el panel de control. Con alimentación de polaridad invertida, la corriente máxima es 30 mA en estado de alarma para el modelo 2WTA-B y 12 mA para todas las demás unidades 2WTA-B en el circuito. Sumar 25 mA de consumo de corriente para el relé inversor RRS-MOD.

Tabla 11. Especificaciones técnicas de los detectores de humo

Fuente: Catálogo de detectores contra incendios. System Sensor

Seleccionamos el detector de humo Modelo 4WTAR-B por ser el que presenta mayores prestaciones.

### 3.6. Costos de la implementación del sistema de inyección de aire para la presurización de escalera de emergencia de un edificio residencial

Según se muestra en la tabla 12 los costos de la implementación del sistema de presurización de escaleras son bastante razonables, ya que no superan los S/. 23 510.00 de inversión

Descripción	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
Ventilador centrífugo CBXT-10/10-1.5	01	2500.00	2500.00
Ventilador centrífugo CBXT-15/15-2	01	3000.00	3000.00
Damper Barométrico	1	1000.00	1000.00
Variador de velocidad MX2-A4004	01	1250.00	1250.00
Transmisor de presión TDP -D	02	850.00	1700.00
Detector de humo 4WTAR-B	11	200.00	2200.00
Detector térmico de calor Modelo N° 5451	11	200.00	2200.00
Pulsador manual para activar alarma	11	20.00	220.00
Alarma sonora	11	40.00	440.00
Sistema de ductos (ducto rectangular de Poliuretano)	01	3000.00	3000.00
Montaje e instalación del sistema	01	4500.00	4500.00
Montaje del sistema de ductos	01	1500.00	1500.00
<b>TOTAL</b>			<b>23 510.00</b>

Tabla 12. Costos de implementación del sistema de automatización y control

Fuente: Elaboración propia

### 3.7. Tiempo de Recupero de la Inversión:

Este tipo de sistemas tienen un costo un poco alto por los equipos que requiere, pero al aplicarse en un lugar como es un edificio residencial, en este caso de once pisos, es necesario, tanto por norma como por seguridad y bienestar de los habitantes.

Si se desea el servicio, este entraría con un costo adicional como son el de los servicios de vigilancia y ascensores, los cuales se pagan a fin de cada mes un monto razonable.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede pactar un costo adicional mensual a los Costos por Servicios Múltiples de los edificios residenciales un valor de entre 20 y 30 nuevos soles, que al total de departamentos o familias que habitan en este edificio saldría un total de:

Departamentos por piso	N° de pisos	Total de departamentos
4	1	44

monto	total	
	mensual	anual
25 soles x dep	1100	13200

En un año se recupera la cantidad de S/. 13200.00, entonces el monto total se recupera en un tiempo de:

$23510/13200 = 1.78$  ----- Un año y 10 meses aproximadamente.

Se recomienda considerar un monto de 30 soles como servicio, ya que los 5 soles adicionales a los 25 anteriormente definidos se utilizarán para darle mantenimiento cada tres meses, dejando como reserva un aproximado de 660 soles en 3 meses.

#### IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El diseño de cualquier ducto de evacuación del humo necesita casi obligatoriamente una planificación previa a su construcción, que permita su utilización inmediata en caso de emergencia y sea suficiente para permitir que todos los ocupantes puedan hacer uso de esta.

Una parte muy importante son los sistemas de detección y alarma, pues el fuego o el humo pueden impedir la utilización de un determinado medio de evacuación, por lo tanto, se torna esencial la existencia de otra vía alternativa, alejada de la primera.

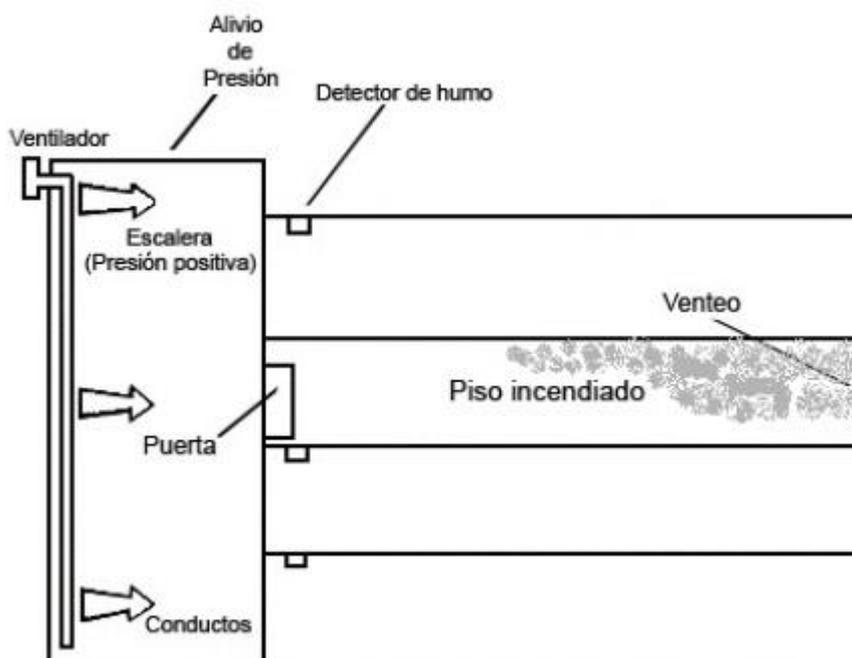


Figura 64. Detector de humo en un sistema de presurización.

Fuente: Elaboración propia

Se debe contar con un plan de evacuación conocido por los ocupantes de los edificios. En el caso de edificios con ocupantes móviles, los habitantes deben conocer con exactitud las medidas de evacuación, además deberán contar con la adecuada señalización, que optimice los tiempos para evitar consecuencias fatales. Así mismo contar con un plan de evacuación para el

caso de los ocupantes discapacitados o que necesiten de ayuda de otra persona para evacuar en caso de incendio. Debe ser importante también, que la anchura mínima de una puerta deba permitir el ingreso de una persona en una silla de ruedas, considerando al menos 81 centímetros.

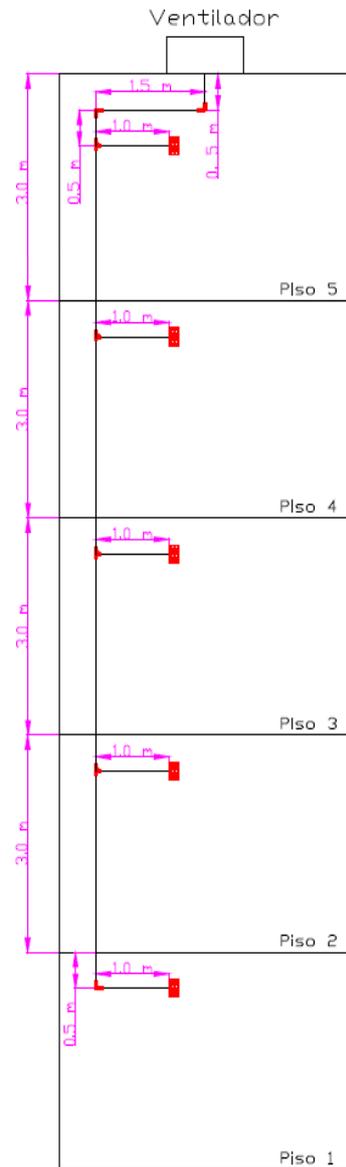


Figura 65. Esquema del sistema de ductos de ventilación

Fuente: Elaboración propia

El diseño de zonas verticales interiores implica necesariamente la utilización de un sistema de presurización. El reglamento de edificaciones exige que toda zona vertical de seguridad, en edificios de 5 o más pisos debe estar presurizada o ventilada, por lo tanto, si se diseña está en el interior del edificio, la única alternativa es que esté presurizada.

## IV. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- En la actualidad el diseño de sistemas de presurización de escaleras es insipiente debido a que: en primer lugar, no se tiene una base sólida que indique el procedimiento de diseño, y por otro, hasta el momento, en la ciudad de Chiclayo, no han ocurrido incendios de gran magnitud que pongan a prueba los sistemas ya ejecutados.
- El método de control de humos mediante presurización de escaleras es efectivo en caso de un siniestro, porque garantiza que las vías de evacuación estén libres de humo el tiempo necesario que dure la salida de las personas del edificio. No siempre es factible este método de control de humos, en ese caso se debe buscar una alternativa segura como el uso de rejillas, efecto chimenea o incluso la ventilación natural.
- Se han identificado 09 componentes básicos que todo sistema de presurización de escaleras debe contar: ventilador centrífugo, variador de velocidad, transmisor de presión, detector de humo, detector térmico, alarma sonora, pulsador manual para activar alarma, ductos de distribución de aire y compuerta de alivio.
- Los criterios de diseño presentados en esta investigación son muy útiles para desarrollar las bases de un óptimo sistema de evacuación vertical en la escalera de evacuación al interior del edificio, pero sin lugar a dudas debe ser analizado cada caso de manera particular.
- Una de las restricciones del sistema de presurización de escaleras son las pérdidas de presión que se producen en el sistema de ductos, por lo cual, el ventilador debe poseer el suficiente caudal y presión que garantice el funcionamiento del sistema de acuerdo a la normativa.
- Los costos de la implementación del sistema de presurización de escaleras ascienden a S/. 23 510.00 de inversión total.

## **Recomendaciones**

- Los sistemas de control de humos deben considerarse desde el diseño de edificio para garantizar que el sistema de presurización sea efectivo.
- Es necesario que Organizaciones Civiles e Instituciones como los Gobiernos Regionales, Municipalidades, Colegio de Arquitectos, Ingenieros y el Cuerpo de Bomberos organicen campañas informativas para difundir la importancia y metodología de la presurización de vías de escape a fin de concientizar a la población del valor de este procedimiento con el fin de evitar pérdidas humanas dentro de un siniestro en cualquier tipo de edificio.

Se propone para estudios posteriores:

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

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. Botta, “Movimiento y control de humo”, Red Proteger, 1a, Ed, Rosario, 2011, 25 p.
- [2] L. Arenas, “Diseño del sistema de ventilación y protección contra incendios de un aparcamiento subterráneo”, Tesis de pre grado, Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Ingeniería Mecánica, 2013, 172 p.
- [3] X. Cárcamo, “Sistemas para el control de humo en edificios de hormigón armado”, Tesis de pre grado, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, 2012, 151 p.
- [4] N. Astorga, “Criterios de diseño de la zona vertical de seguridad contra incendio para edificios en altura”, Tesis de pre grado, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2009, 130 p.
- [5] M. Bonilla y P. Velarde, “Protección contra incendios en vías de evacuación mediante presurización en edificios y locales públicos en la ciudad de Quito”, Tesis de pre grado, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2008, 259 p.
- [6] A. Vargas, “Diseño del sistema de presurización y control para la escalera de escape del centro comercial Camino Real”, Tesis de Pre grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2006, 164 p.
- [7] Reglamento Nacional de Edificaciones, “Normas legales”, Ministerio de Vivienda del Perú, 2010, 23 p.
- [8] Norma A.010, “Condiciones generales de diseño de una edificación, seguridad”, Ministerio de Vivienda del Perú, 2014, 67 p.
- [9] Cámara de Profesionales y Empresas de Seguridad contra Incendios (CAPESI), “Manejo de humo y calor, sistemas de presurización para caja de escaleras”, Comisión técnica en edificación, República Argentina, 2011, 9 p.

- [10] D. Galán y F. Launes, “Comportamiento del fuego según tipología de forjado”, Proyecto de fin de carrera, Universidad Politécnica Superior de Barcelona, 2011, 85 p.
- [11] M. Torres, “Diseño de un sistema de ventilación para estacionamiento subterráneo de tres niveles” Tesis de pre grado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Lima, 2014, 105 p.
- [12] S. Escoda, “Manual práctico de ventilación”, catálogo técnico, segunda edición, Barcelona, 2012, 137 p.
- [13] J. Sanga, “Ventilación de Bodega de Almacenamiento de Producto Terminado en una Fábrica de Balanceado”, Tesis de pre grado, Universidad Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Guayaquil, 2012, 154 p.
- [14] V. Cando, “Diseño de un sistema de ventilación con control automático en bodega de almacenamiento de productos balanceados”, Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2015, 115 p.
- [15] J. Vargas, “Estudio teórico-experimental de un ventilador centrífugo de alabes rectos radiales del laboratorio de energía”, Tesis de pre grado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Lima, 2013, 102 p.
- [16] Soler & Palau Ventilation Group, “Manual práctico de ventilación”, México, 52 p.
- [17] AP & C, “Controladores de frecuencia variable”, revista Automatización, Productividad y Calidad, Puebla, México, 2012, 16 p.
- [18] J. Campos, “Eficiencia energética en motores eléctricos”, Universidad del Atlántico y Universidad Autónoma de Occidente, Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia, 2011, 33 p.
- [19] C. Santiana y J. Rumipamba, “Diseño e implementación de un módulo de entrenamiento con comunicación Ethernet”, Tesis de pre grado,

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de informática y Electrónica, Ecuador, 2012, 133 p.

- [20] J. Acevedo, “Diseño e implementación de un control escalar para un convertidor de frecuencia trifásico utilizando modulación PWM regular”, Tesis de pre grado, Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Colombia, 2006, 110 p.
- [21] J. Núñez, “Implementación de un módulo didáctico para el control y regulación de la velocidad en lazo cerrado en motores asincrónicos trifásicos, empleando un variador de control vectorial”, Tesis de pre grado, Escuela Politécnica del Ejercito, Facultad de Ingeniería Electromecánica, Latacunga, Ecuador, 2007, 155 p.
- [22] A. Acosta y D. Valverde, “Diseño e implementación del sistema de circuito cerrado de televisión para seguridad y detectores de humo en el local comercial almacenes Espinoza del barrio la ecuatoriana”, Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Formación de Tecnólogos, Quito, 2014, 158 p.
- [23] System Sensor, “Detectores de humo para sistemas”, guía de aplicaciones, Estados Unidos, 2010, 28 p.
- [24] GIRA, “Detector de humo”, Instrucciones de uso, Radevormwald, Alemania, 2014, 5 p.
- [25] G. San Martin, “Sistemas de detección fija de incendio a bordo de naves”, Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Chile, 2005, 134 p.
- [29] V. Viscaino, “La automatización de procesos y su relación con la gestión de información”, Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2015, 117p.

# **ANEXOS**

## ANEXO 1: NORMATIVA

Independientemente de la clase de sistema, deben cumplirse unos requisitos en todo sistema de presurización:

- Considerar las fugas de aire para calcular el caudal de aportación.
- Para suministrar aire exterior a un espacio presurizado se deben utilizar ventiladores mecánicos, con los correspondientes conductos.
- Cada vía de evacuación presurizada debe contar con su propio suministro de aire independiente.

### SUMINISTRO DE AIRE

- Edificios < 11 m de altura, es aceptable una única descarga de aire en la parte superior de la caja de escaleras.
- Edificios > 11 m de altura, debe haber bocas de descarga cada 3 plantas.
- Los sistemas de impulsión han de contar con dos niveles de capacidad: normal y potenciado.
- El punto de suministro de aire no debe estar situado a menos de 3 m de las puertas de salida final.

### SUMINISTRO DE AIRE - ESCAPE DE AIRE

- En el caso de los pozos de ascensor, debe haber un punto de inyección/suministro de aire para cada punto, hasta 30 m de altura.
- Cada vestíbulo debe contar con un punto de inyección/suministro de aire de presurización.
- Cuando la puerta sea de dos hojas, se debe considerar abierta sólo una de éstas, para establecer el área efectiva de escape de aire a través de la puerta.
- Añadir un +15% en caudal para cubrir posibles pérdidas en los conductos.
- Coeficiente de seguridad de 1,5 al caudal de fugas.

### REQUISITOS DE LOS VENTILADORES Y ACCIONAMIENTO DE RESERVA

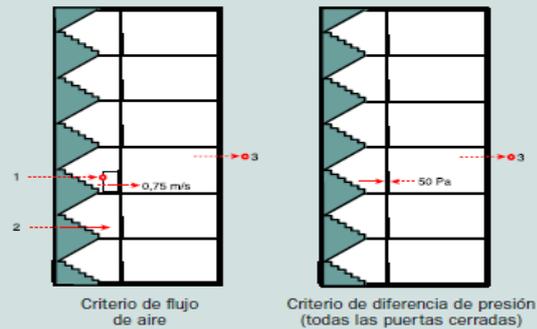
- Cuando exista una única vía de evacuación para cada área de alojamiento de un edificio, se debe prever un ventilador de reserva completo, con su motor. Si se utiliza un grupo de ventiladores para esta vía, sólo se debe duplicar el de mayor capacidad.
- La toma de aire exterior debe estar lejos de cualquier punto con riesgo de incendio. Las entradas de aire exterior se deben colocar a nivel de planta baja y lejos de salidas de humos del sótano. Si no es posible se ubicará en el tejado.

CLASE DE SISTEMA	EJEMPLO DE USO Y APLICACIONES
A	Escaleras destinadas exclusivamente a medios de escape. Defensa <i>in situ</i> . Ejemplo: Pisos y viviendas multifamiliares.
B	Escaleras destinadas a medios de escape y lucha contra incendios.
C	Escaleras destinadas a medios de escape mediante evacuación simultánea. Ejemplo: Oficinas y parkings.
D	Escaleras destinadas a medios de escape. Riesgo de personas dormidas no familiarizadas con el local o necesiten ayuda. Ejemplo: Hoteles, albergues e internados.
E	Escaleras destinadas a medios de escape, con evacuación por fases. Ejemplo: Hospitales.
F	Escaleras destinadas a sistemas contra incendios y medios de escape.

## Clases

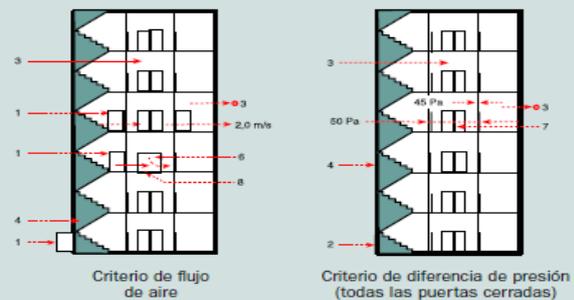
### CLASE A

- Velocidad aire a través de la entrada entre la escalera presurizada y el vestíbulo/pasillo no debe ser inferior a **0,75 m/s**.
- Diferencia de presión entre ambos lados de una puerta cerrada, entre la escalera presurizada y el vestíbulo/pasillo, no debe ser inferior a **50 Pa ± 10 Pa**.
- \* La puerta abierta puede indicar un paso libre de aire a través de un vestíbulo único.



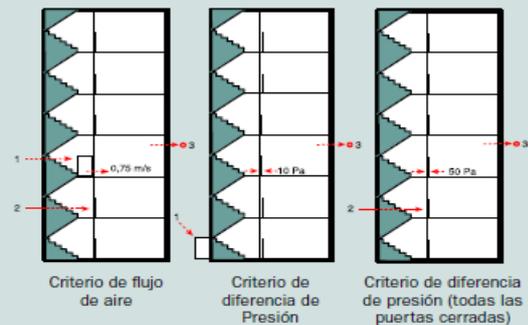
### CLASE B

- El caudal de aire a aportar debe ser suficiente para mantener un flujo de aire de **2m/s**.
- La diferencia de presión entre pozo del ascensor y el área de alojamiento de **50 Pa** y de **45 Pa** a ambos lados de las puertas cerradas entre cada vestíbulo y el área de alojamiento. Tolerancia admitida de **± 10 Pa**.
- El caudal necesario será el que determine el número de puertas abiertas.



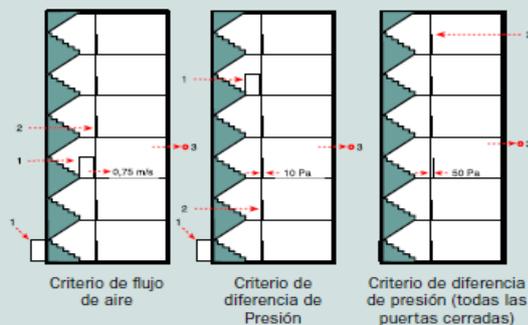
### CLASE C

- La velocidad del flujo del aire a través de la puerta entre un espacio presurizado y el área de alojamiento no debe ser inferior a **0,75 m/s**.
- La presión diferencial mínima a mantener será de **50 Pa**. Tolerancia admitida de **± 10 Pa**.
- El humo que pueda introducirse en las escaleras de evacuación, será eliminado progresivamente con la sobre presión de las escaleras.



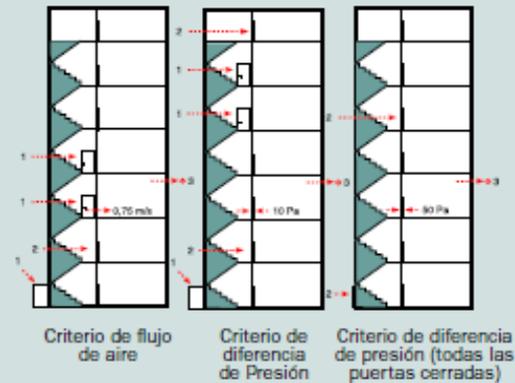
### CLASE D

- La velocidad del flujo del aire a través de la entrada entre la escalera presurizada y el área de alojamiento en la planta afectada por el incendio, no debe ser inferior a **0,75 m/s**.
- La presión diferencial mínima a mantener será de **50 Pa**. Tolerancia admitida de **± 10 Pa**.



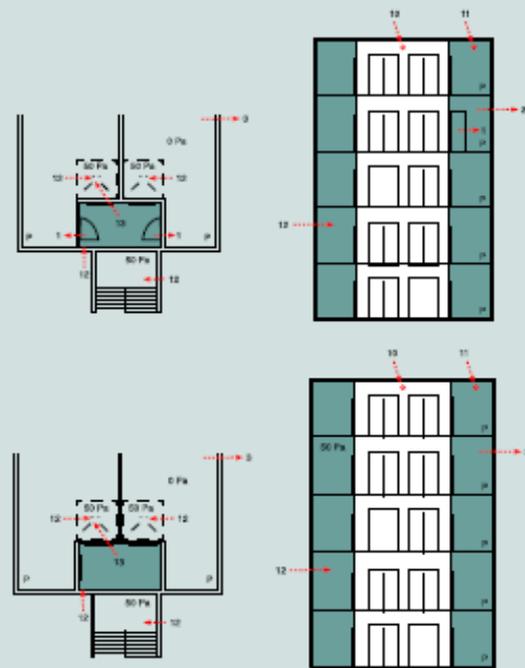
### CLASE E

- La velocidad del flujo del aire a través de la entrada entre la escalera presurizada y el área de alojamiento en la planta afectada por el incendio, no debe ser inferior a **0,75 m/s**.
- La presión diferencial mínima a mantener será de **50 Pa**. Tolerancia admitida de **± 10 Pa**.



### CLASE F

- La velocidad del flujo del aire a través de la puerta entre la caja de escalera y el vestíbulo no debe ser inferior a **2 m/s**.
- La presión diferencial mínima a mantener entre el hueco del ascensor y el área de alojamiento, y entre la escalera y el área de alojamiento debe ser de **50 Pa**, mientras que, entre vestíbulo y el área de alojamiento, debe ser de **45 Pa**. Tolerancia admitida de **± 10 Pa**.



1) puerta abierta, 2) puerta cerrada, 3) abertura de escape de aire, 4) escalera de incendios, 5) vestíbulo de bomberos, 6) puerta abierta (vestíbulo de bomberos), 7) puerta cerrada (vestíbulo de bomberos), 8) flujo de aire desde el pozo del ascensor de bomberos, 9) escalera, 10) vestíbulo, 11) área de alojamiento, 12) aire exterior, 13) cabina ascensor.

### Fuga de aire a través de puertas

TIPO DE PUERTA	ÁREA DE FUGA (m <sup>2</sup> )	DIFERENCIAL DE PRESIÓN (Pa)	FUGA DE AIRE (m <sup>3</sup> /s)
Puerta de una hoja que abre hacia espacio presurizado	0,01	10	0,024
	0,01	50	0,060
Puerta de una hoja que abre hacia fuera espacio presurizado	0,02	10	0,058
	0,02	50	0,120
Puerta de dos hojas	0,03	10	0,085
	0,03	50	0,180
Puerta rellano ascensor	0,06	10	0,160
	0,06	50	0,350

## ANEXO 2: MATERIAL PARA LOS DUCTOS DE AIRE PRESURIZADO

### VENTAJAS

**Baja conductividad térmica** ( $K = 0.16 \text{ BTU pulg. / pie}^2 \text{ hora } ^\circ\text{F}$  a  $75 \text{ }^\circ\text{F}$  de temperatura media). que representa un menor costo de operación y contribuye eficazmente a que el aire llegue a su destino a la temperatura calculada.

**Material impermeable:** No permiten las pérdidas ni ganancias de calor, entregando el aire en forma eficiente y con mínimas pérdidas de presión a lo largo de todo el trayecto. Eliminan la condensación.

□ **Bajo coeficiente de fricción:** Poseen la misma de los ductos metálicos; 1.3 a 1500 ft/min. (ASHRAE).

**Más higiénicos** y mejor calidad del aire: No posee materiales fibrosos, por lo tanto no despiden ni desprenden partículas ni fibras contaminantes y al no poseer celdas abiertas en su composición, no permiten la contaminación del aire, no guardan humedad, bacterias u olores que perjudican y son nocivos para la salud.

**Amigables con el medio ambiente:** No contienen CFC ni HCFC.

**Retardados al fuego.**

**Son dimensionalmente estables,** son ligeros pero poseen gran resistencia y rigidez.

**Fáciles de transportar,** manipular, construir e instalar.

**Fácil mantenimiento** y limpieza.

**Economía en soportes:** Uno cada 3000 mm.

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Unidad	Ducto de Aire
Descripción	Ducto rectangular de Poliuretano para la conducción de aire acondicionado y ventilación. Está recubierto en una o ambas caras con foil de aluminio .
Densidad	50 Kg/ m <sup>3</sup>
Coefficiente de conductividad térmica	0.16 BTU plg/ hr pie <sup>2</sup> °F a 75 °F de tm
T° de servicio	Hasta 90°C en régimen continuo
Velocidad del aire	3.540 pies/min.
Absorción de humedad	< 0.1% Prácticamente nula.
Combustibilidad	Retardados al fuego
Acabado	Foil de aluminio reforzado en una o ambas caras
Empaque	Paquete de 6 laminas.

CALORCOL S.A.



## ANEXO 3: DATOS DE VENTILADORES CENTRIFUGOS

### CBXT-10/10-1.5 60HZ



Ventiladores centrifugos de doble aspiración a transmisión, equipados con motor eléctrico, conjunto de poleas, correas, protectores y turbina con álabes hacia delante

**Ventilador:**

- Envoltorio en chapa de acero galvanizado
- Turbina con álabes hacia delante, en chapa de acero galvanizado

**Motor:**

- Motores de eficiencia IE3 para potencias iguales o superiores a 0,75kW, excepto monofásicos, 2 velocidades y 8 polos.
- Eje libre con rodamientos a bolas de engrase permanente en ambos lados
- Temperatura máxima del aire a transportar: -20°C + 80°C.

**Acabado:**

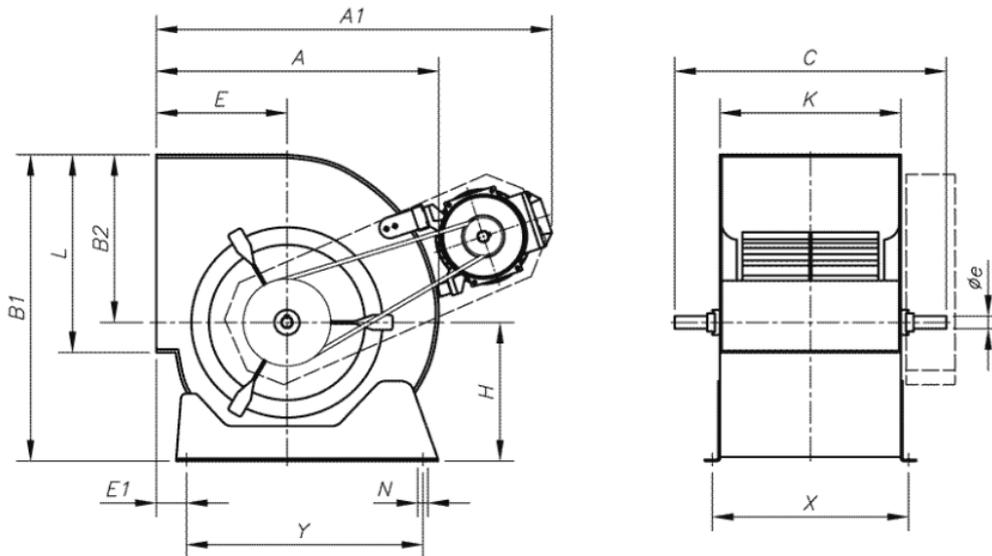
- Anticorrosivo en chapa de acero galvanizado

<b>Caudal máximo (cfm)</b>	<b>2825</b>
<b>Velocidad (rpm)</b>	<b>1070</b>
<b>Peso aprox. (kg)</b>	<b>61,30</b>

<b>Potencia Mecánica Nominal (kW)</b>	<b>1,10</b>
<b>Hz/fases</b>	<b>60/3</b>
<b>Motor (rpm)</b>	<b>1746</b>
<b>Polos</b>	<b>4</b>
<b>Corriente máx. (A) 380-480 V Y</b>	<b>2,34</b>
<b>Corriente máx. (A) 220-277 V D</b>	<b>4,07</b>
<b>Protección del motor</b>	<b>IP55</b>
<b>Tamaño del bastidor del motor</b>	<b>90</b>

A	A1	A2	B1	B2	C	E	E1	øe	H	H2	H3	K	L	N	X	Y	Z2	Z3
422	610	655	450	246	470	202	73	20	204	443	470	326	292	9x17	355	315	50	50

Las dimensiones sin unidades definidas explícitamente se muestran en milímetros (mm)



### CBXT-15/15-2 60HZ



Ventiladores centrífugos de doble aspiración a transmisión, equipados con motor eléctrico, conjunto de poleas, correas, protectores y turbina con álabes hacia delante

Ventilador:  
 - Envoltorio en chapa de acero galvanizado  
 - Turbina con álabes hacia delante, en chapa de acero galvanizado

Motor:  
 - Motores de eficiencia IE3 para potencias iguales o superiores a 0,75kW, excepto monofásicos, 2 velocidades y 8 polos.  
 - Eje libre con rodamientos a bolas de engrase permanente en ambos lados  
 - Temperatura máxima del aire a transportar: -20°C.+ 80°C.

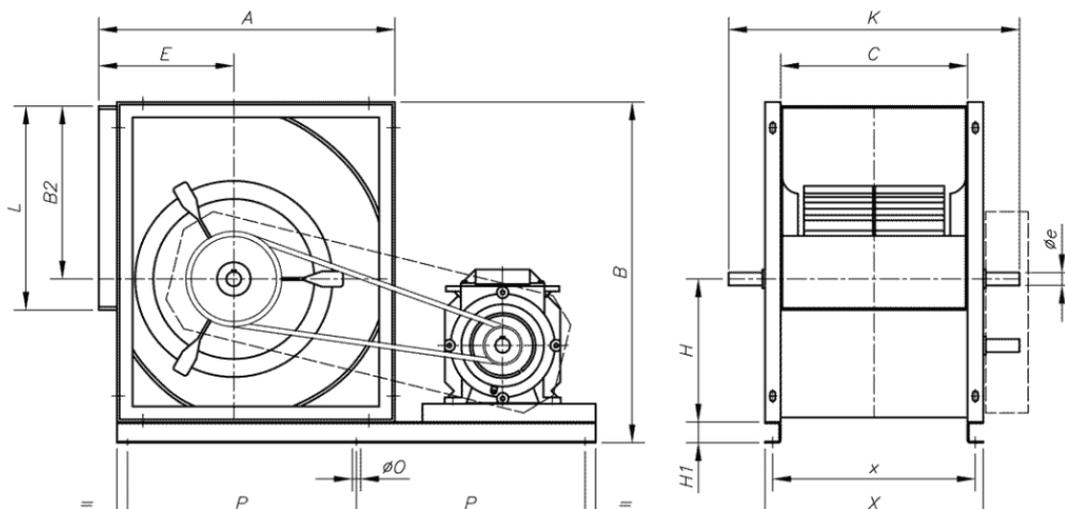
Acabado:  
 - Anticorrosivo en chapa de acero galvanizado

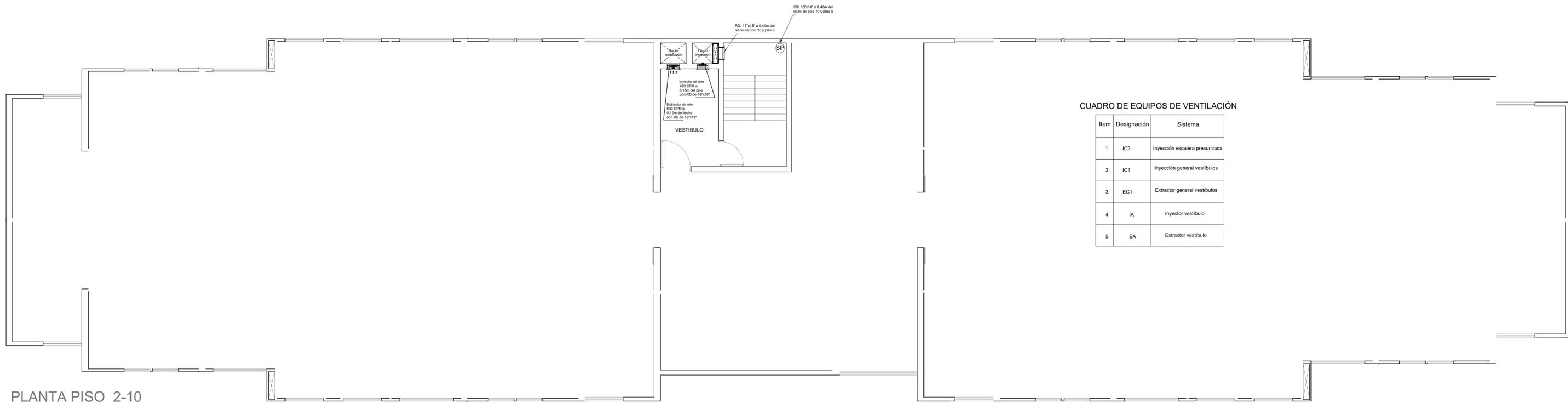
Caudal máximo (cfm)	4826
Velocidad (rpm)	670
Peso aprox. (kg)	92,60

Potencia Mecánica Nominal (kW)	1,50
Hz/fases	60/3
Motor (rpm)	1728
Polos	4
Corriente máx. (A) 380-480 V Y	3,11
Corriente máx. (A) 220-277 V D	5,41
Protección del motor	IP55
Tamaño del bastidor del motor	90

A	B	B2	C	E	øe	H	H1	K	L	øO	P	V	x	X
583	672	348	473	265	25	284	40	650	404	12	415,5	895	505	533

Las dimensiones sin unidades definidas explícitamente se muestran en milímetros (mm)

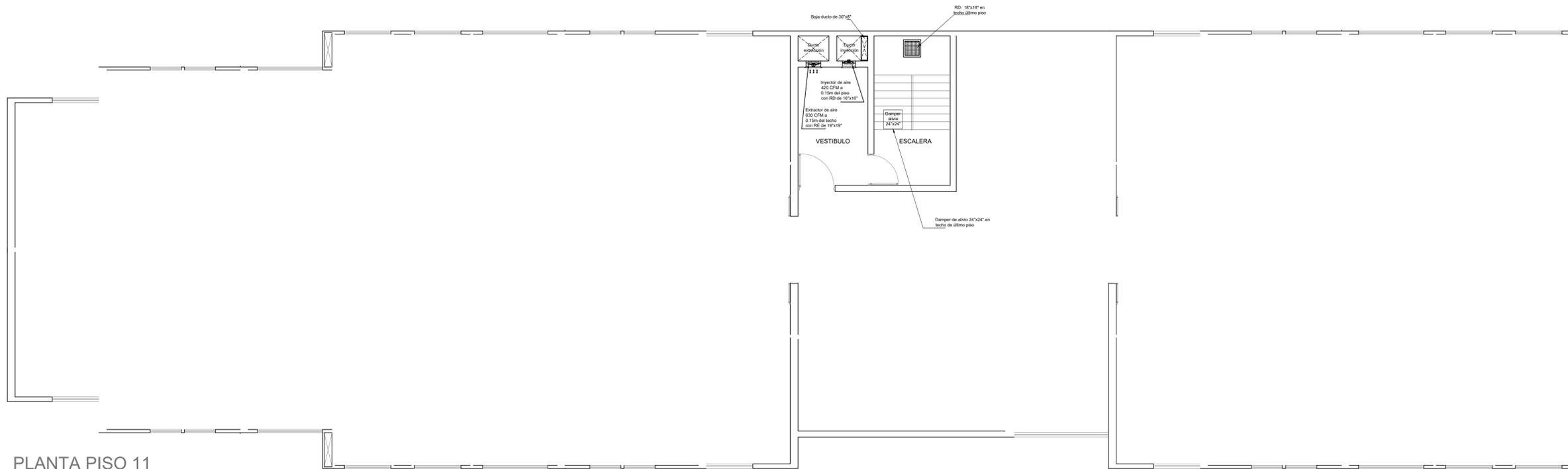




PLANTA PISO 2-10

CUADRO DE EQUIPOS DE VENTILACIÓN

Item	Designación	Sistema
1	IC2	Inyección escalera presurizada
2	IC1	Inyección general vestíbulos
3	EC1	Extractor general vestíbulos
4	IA	Inyector vestíbulo
5	EA	Extractor vestíbulo



PLANTA PISO 11



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
SANTO TORIBIO DE  
MOGROVEJO

**INSTALACIONES  
MECÁNICAS**

**VENTILACIÓN  
VESTÍBULOS PREVIOS:  
PISO 2 AL 10 Y PISO 11**

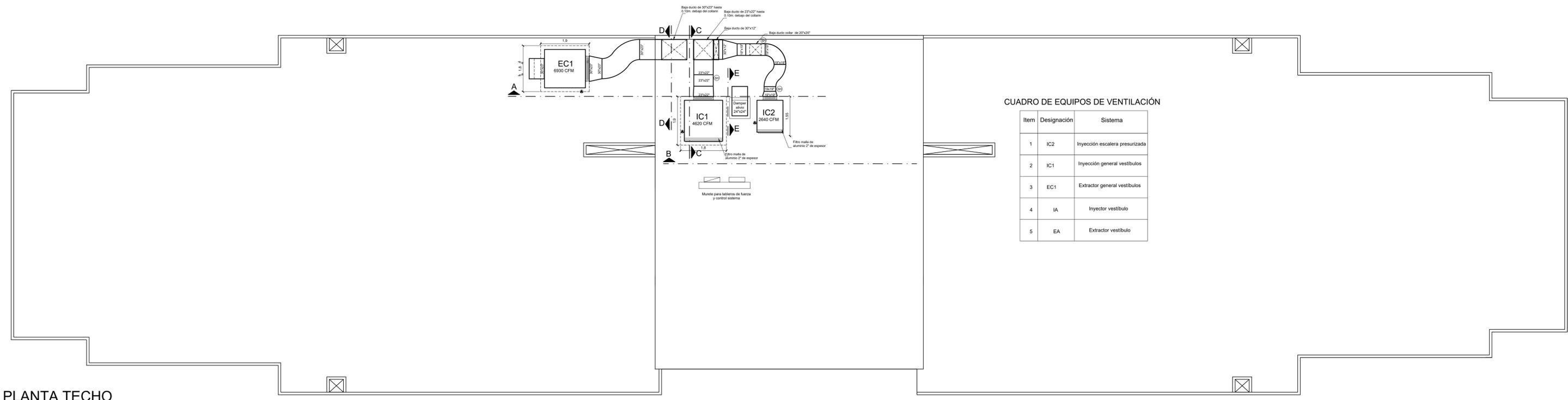
JULIO, 2017

ELABORADO POR:

BACH. LUIS ANTONIO  
ROLANDO CRUZ OJEDA

LAMINA:

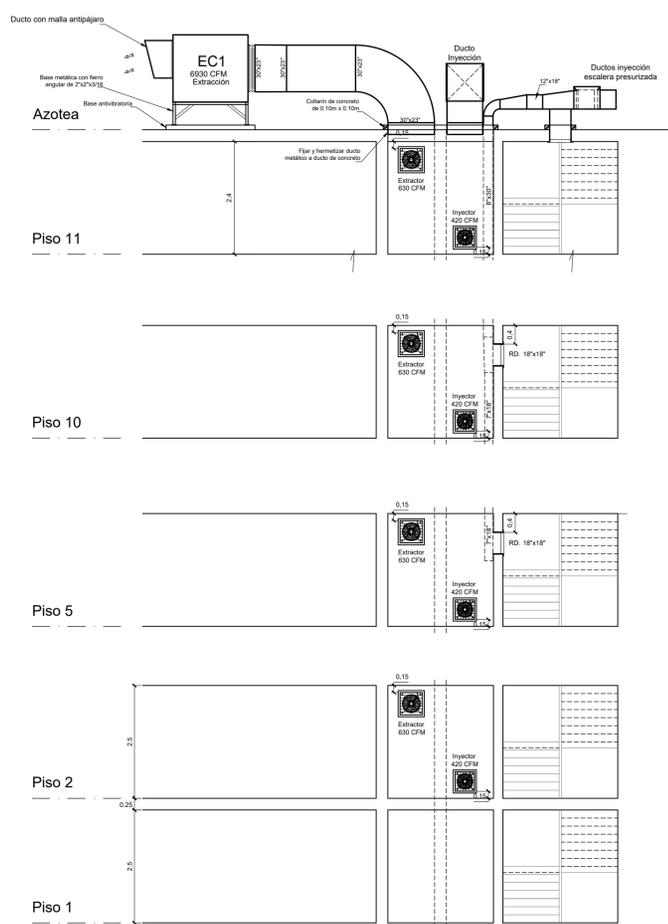
**EPRE - 01**



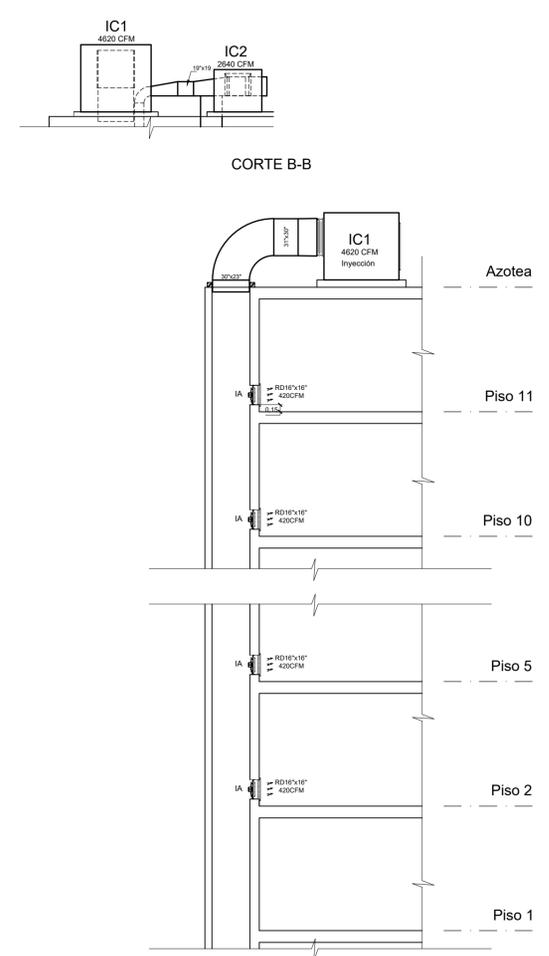
CUADRO DE EQUIPOS DE VENTILACIÓN

Item	Designación	Sistema
1	IC2	Inyección escalera presurizada
2	IC1	Inyección general vestíbulos
3	EC1	Extractor general vestíbulos
4	IA	Inyector vestíbulo
5	EA	Extractor vestíbulo

PLANTA TECHO

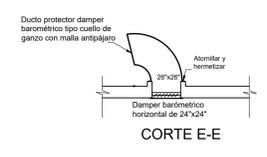


CORTE A-A

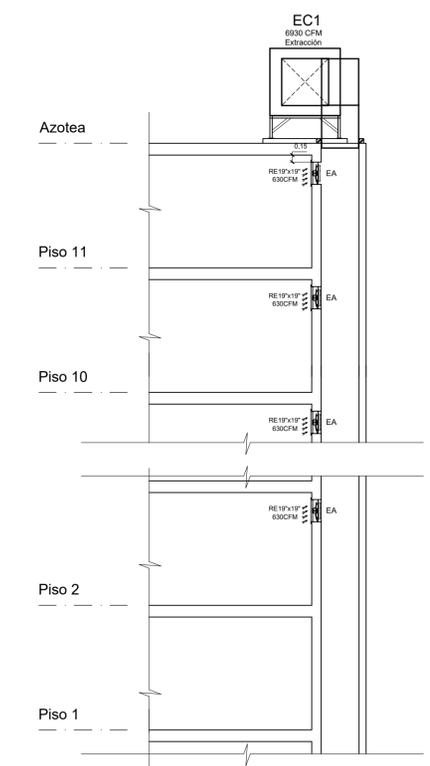


CORTE B-B

CORTE C-C



CORTE E-E



CORTE D-D



USAT  
Universidad Católica  
Santo Toribio de Mogrovejo

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
SANTO TORIBIO DE  
MOGROVEJO

UBICACIÓN DE  
EQUIPOS  
DE INYECCIÓN Y  
EXTRACCIÓN DE AIRE  
EN TECHO Y PISOS

- PLANTA TECHO  
- CORTES PISOS 1 AL 11

JULIO, 2017

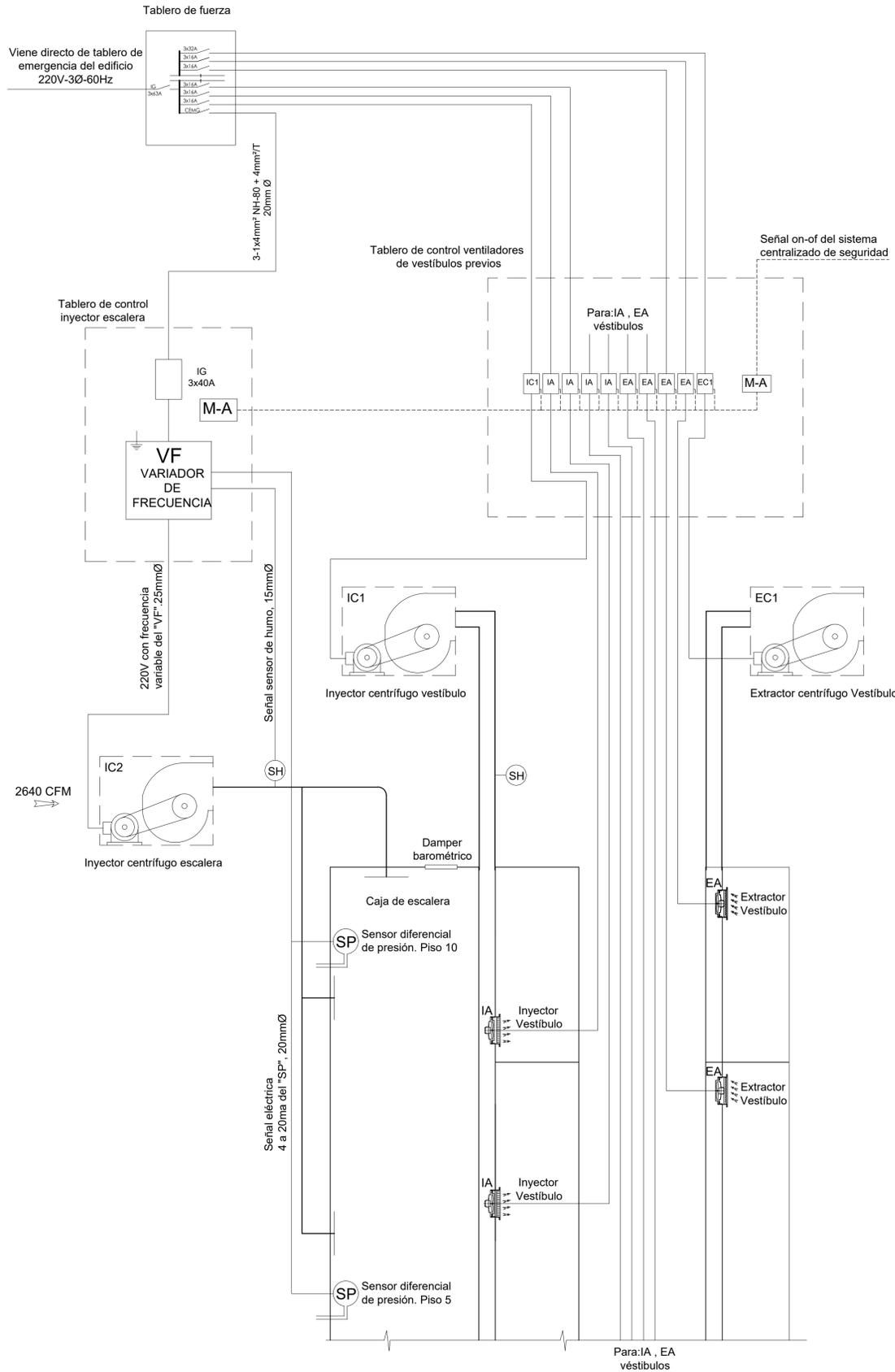
ELABORADO POR:

BACH. LUIS ANTONIO  
ROLANDO CRUZ OJEDA

LAMINA:

**EPRE - 02**

**ESQUEMA DE PRINCIPIO**  
Sistema de presurización de escalera y ventilación de vestíbulos



**CUADRO DE EQUIPOS DE VENTILACIÓN**

Item	Designación	Sistema	Cant.	Tipo	Transmisión	Caudal CFM	Caida de presión	Caract. Eléctricas	Nivel de ruido max. permitido. Dba	Potencia KW	Peso Kg.
1	IC2	Inyección escalera presurizada	01	Centrifugo doble entrada, gabinete isonorizado	Fajas y poleas	2640	1.5" de c.a.	380V-3Ø-60Hz.	76 Dba a 1m del equipo	1.1 KW c/u	90
2	IC1	Inyección general vestíbulos	01	Centrifugo doble entrada, gabinete isonorizado	Fajas y poleas	4620	0.5" de c.a.	380V-3Ø-60Hz.	74 Dba a 1m del equipo	1.5 KW c/u	120
3	EC1	Extractor general vestíbulos	01	Centrifugo doble entrada, gabinete isonorizado	Fajas y poleas	6930	0.4" de c.a.	380V-3Ø-60Hz.	82 Dba a 1m del equipo	7.5 KW c/u	140
4	IA	Inyector vestibulo	10	AXIAL	Directa	420	0.15" de c.a.	220V-1Ø-60Hz.	50 Dba a 1m del equipo	0.07 KW c/u	3.5
5	EA	Extractor vestibulo	10	AXIAL	Directa	630	0.15" de c.a.	220V-1Ø-60Hz.	58 Dba a 1m del equipo	0.07 KW c/u	4.5



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
SANTO TORIBIO DE  
MOGROVEJO

**SISTEMA DE  
PRESURIZACIÓN DE  
ESCALERA Y VESTÍBULO**

**TABLERO DE FUERZA Y  
CONTROL DEL SISTEMA  
DE PRESURIZACIÓN**

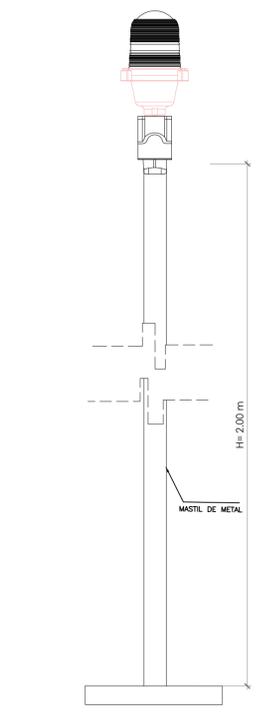
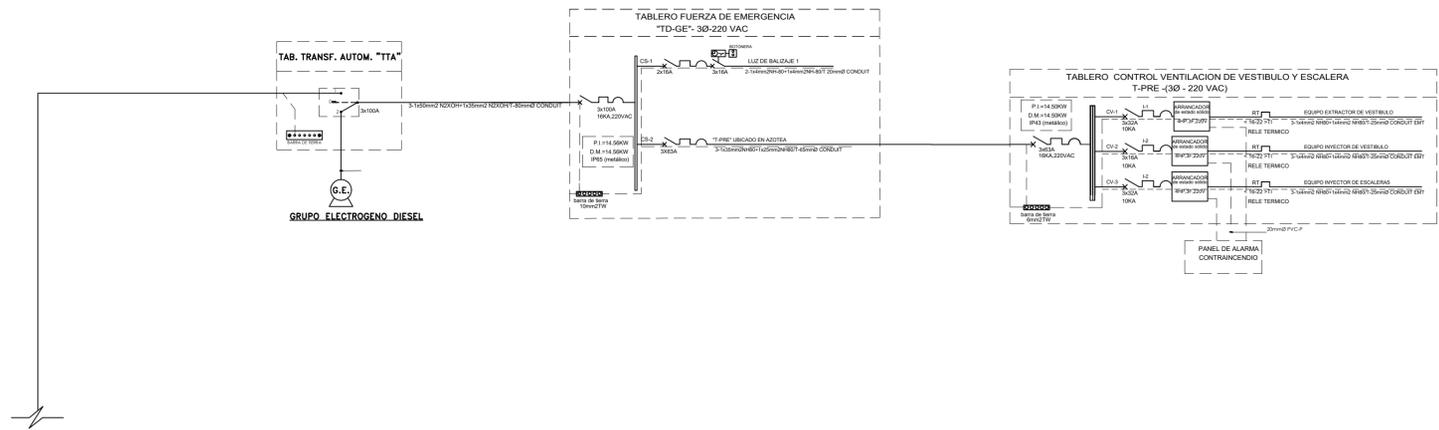
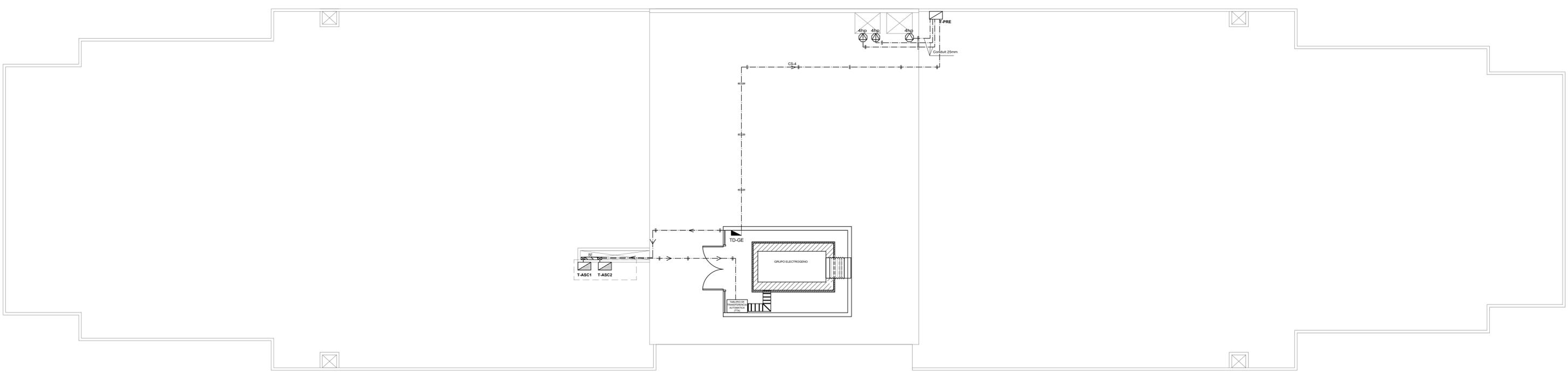
JULIO, 2017

ELABORADO POR:

BACH. LUIS ANTONIO  
ROLANDO CRUZ OJEDA

LAMINA:

**EPRE - 03**



DETALLE 2: LUZ DE BALIZAJE INSTALADA EN MASTIL  
ESC. 1/10

### LEYENDA ENERGIA

SIMBOLO	DESCRIPCION	TIPO DE CAJA	ALTURA DE CAJA S.N.P.T.
---	TUBERIA EMPOTRADA POR TECHO O PARED PARA ENERGIA DE 20mm# PVC-CP, MINIMO SALVO OTRA INDICACION.		
---	TUBERIA EMPOTRADA POR PISO PARA ENERGIA DE 20mm# PVC-CP MINIMO SALVO OTRA INDICACION		
IT	NUMERO DE CONDUCTORES EN DUCTOS		
NOTA	CABLE DE TIERRA COLOR VERDE O VERDE AMARILLO, IRA EN TODOS LOS CIRCUITOS SEGUN UNIFILAR		
---	CIRCUITO DE FUERZA EMPOTRADO EN PISO/PARED CON TUBERIA PVC SAP O ADOSADO EN TECHO O ADOSADO CON TUBERIA CONDUIT SEGUN INDICACION		
---	TUBERIAS TIPO CONDUIT ADOASADAS A TECHO/PARED SEGUN INDICACION EN PLANO		
⊕	POZO DE TIERRA SEGUN DETALLE		
⊕	LUZ DE BALIZAJE DE 60 W COLOR ROJO	O	0.50m.
IT	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO TIPO DIN EN CAJA PARA EMPOTRAR CON PUERTA CHAPA Y LLAVE PARA CARGA ESPECIAL DE UNIZACION SEGUN INDICACION	ESPECIAL	1.40m.
⊕	TOMACORRIENTE MONOFASICO DOBLE CON PUERTA A TIERRA	R	0.40
⊕	TOMACORRIENTE MONOFASICO DOBLE CON PROTECCION A LA HUMEDAD Y TIERRA	R	1.20/1.50
⊕	TOMACORRIENTE MONOFASICO DOBLE ALTO	R	1.50
IT	SALIDA PARA TOMACORRIENTES DE FUERZA PARA CIRCUITOS MONOFASICOS CON 03 CONDUCTORES L6-15R.PARA EMPOTRAR.APROBACION NEMA/LEVITON O SIMILAR	R	1.20m
⊕	SALIDA PARA THERMA		
⊕	CAJA DE FASE OCTOGONAL EMPOTRADO EN LA PARED / TECHO	O	INDICADA
⊕	TABLERO DE DISTRIBUCION ELECTRICA, METALICO PARA ADOASAR	ESPECIAL	1.70m.(B.S.)
⊕	TABLERO DE DISTRIBUCION ELECTRICA, METALICO PARA EMPOTRAR	ESPECIAL	1.70m.(B.S.)
⊕	CAJA DE FASE CUADRADA PLANCHA 1/16" CON PUERTA Y PUSH BOTTOM DIMENSIONES INDICADA EN PLANOS	ESPECIAL	0.40 B.I.
⊕	TABLERO EMPOTRADO EN MURETE DE CONCRETO		
⊕	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO.		
⊕	INTERRUPTOR AUTOMATICO TERMOMAGNETICO CON PROTECCION DIFERENCIAL (INTERRUPTOR DIFERENCIAL CON UNA CORRIENTE RESIDUAL 50-300mA)		
⊕	MEDIDOR DE ENERGIA w / h	ESPECIAL	VER DETALLE
⊕	SALIDA PARA INTERCOMUNICADOR PORTERO PARA EMPOTRAR / CHAPA ELECTRICA	ESPECIAL	1.40m / 1.20m
⊕	SALIDA PARA FUENTE DE ALIMENTACION DE INTERCOMUNICADOR Y MANDO DIGITAL.	ver cuadro de cojas	0.40
⊕	SALIDA DE FUERZA MONOFASICA	ver cuadro de cojas	0.40.Techo,Piso
⊕	SALIDA DE FUERZA TRIFASICA	ver cuadro de cojas	0.40.Techo,Piso
⊕	CAJA DE DISTRIBUCION GALVANIZADA, VER CUADRO DE CAJAS	ver cuadro de cojas	0.40 base inferior
⊕	BANDEJA ELECTRICA DE 50cm x 10cm		
⊕	SOPORTE REL UNISTRUT		

NOTA:  
EN LAS SALIDAS QUE ENTREN MAS DE TRES TUBOS SE COLOCARAN CAJA DE 100x100mm CON TAPA CUADRADA UN GANG.

CAJA O = OCTOGONAL DE 100 x 40 mm.  
CAJA C = CUADRADA DE 100 x 40 mm.  
CAJA R = RECTANGULAR DE 100 x 55 x 50 mm.



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
SANTO TORIBIO DE  
MOGROVEJO

### DIAGRAMA UNIFILAR Y UBICACIÓN DE TABLEROS T-PRES

JULIO, 2017

ELABORADO POR:

BACH. LUIS ANTONIO  
ROLANDO CRUZ  
OJEDA

LAMINA:

EPRE - 04