



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ESCALERAS PRESURIZADAS DE
EMERGENCIA POR INYECCIÓN MECÁNICA DE AIRE,
APLICADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL HOSPITAL MATERNO
INFANTIL – JULIACA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. LUIS ALBERTO ACCROTA CANAHUIRE

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a mis padres Felipe y Julia, quienes nunca dudaron en brindarme su apoyo incondicional, para poder culminar satisfactoriamente mis estudios universitarios.

A mis hermanas Ninfa, Karol y a mi hermano Juan, quienes me motivan a, crecer y a alcanzar mis metas académicamente.

A mis abuelos Cipriano y Eugenia, por las enseñanzas que me dieron para poder salir adelante frente a cualquier dificultad, por más adversa que sea.

Luis Alberto Accrota Canahuire.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno y la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica por la formación académica que me dieron durante los cinco años que duró la carrera, para poder adquirir los conocimientos necesarios para desenvolverme en el campo laboral.

También un agradecimiento especial al Dr. Norman Jesús Beltrán Castañón, quien generosamente aceptó ser el asesor del presente trabajo de investigación y por sus observaciones valiosas que me permitieron mejorar bastantes aspectos en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Agradezco a los docentes de la E. P. de Ing. Mecánica Eléctrica por los conocimientos teóricos y prácticos que me inculcaron, semestre tras semestre, hasta la culminación de mis estudios superiores.

Luis Alberto Accrota Canahuire.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE PLANOS

ÍNDICE DE ANEXOS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 18

ABSTRACT..... 19

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema de investigación 22

1.2. Formulación del problema 23

 1.2.1. Problema general 23

 1.2.2. Problemas específicos..... 23

1.3. Hipótesis 24

 1.3.1. Hipótesis general 24

 1.3.2. Hipótesis específicas..... 24

1.4. Justificación del trabajo de investigación 24

1.5. Objetivos de la investigación 25

 1.5.1. Objetivo general 25

 1.5.2. Objetivos específicos 25



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación	27
2.2. Glosario de términos básicos	31
2.3. Marco teórico	32
2.3.1. Definición de incendio.....	32
2.3.2. Fuerzas impulsoras de movimiento de humo	33
2.3.2.1. Efecto chimenea.....	33
2.3.3. Escaleras de evacuación	34
2.3.3.1. Escaleras presurizadas sin vestíbulos previos ventilados	34
2.3.3.2. Escaleras presurizadas con vestíbulos previos ventilados	38
2.4. Desarrollo del diseño del sistema de presurización de escaleras.....	39
2.4.1. Temperatura de la caja de escaleras.....	40
2.4.2. Factor de temperatura	40
2.4.3. Presurización	40
2.4.4. Método de ecuaciones de diferencias de presiones	41
2.4.4.1. Presión diferencial entre la escalera y el edificio en la base de la caja de escaleras	41
2.4.4.2. Presión diferencial entre la escalera y el edificio en el techo de la caja de escaleras	42
2.4.4.3. Presión diferencial en la base de la escalera respecto al exterior	42
2.4.4.4. Presión diferencial en el techo de la escalera respecto al exterior...	43
2.4.5. Ecuaciones del flujo másico del aire	43
2.4.6. Presión máxima de diseño con todas las puertas cerradas.....	44
2.4.7. Altura límite de diseño	46



2.5. Diseño del sistema de conductos	46
2.5.1. Descripción general del diseño del sistema de ductos.....	46
2.5.2. Factores económicos que influyen en el sistema de conductos.....	46
2.5.3. Espacio disponible y aspecto decorativo	47
2.5.4. Construcción de conductos	47
2.5.5. Tipos de conductos según su forma.....	48
2.5.6. Pérdidas primarias	50
2.5.6.1. Ecuación de Darcy - Colebrook.....	50
2.5.6.2. Pérdida por longitud total	50
2.5.6.3. Factor de rozamiento	50
2.5.6.4. Número de Reynods.....	51
2.5.6.5. Estado de flujo	51
2.5.6.6. Presión de velocidad	51
2.5.6.7. Velocidad del aire	52
2.5.7. Pérdidas secundarias.....	53
2.5.8. Ventiladores	58
2.5.8.1. Ventiladores axiales	59
2.5.8.2. Ventiladores centrífugos	59
2.5.8.3. Selección de ventiladores.....	62
2.5.8.4. Leyes de los ventiladores	65
2.5.9. Control de flujo de los ventiladores.....	66
2.5.9.1. Variadores de velocidad.....	67
2.5.9.2. Sensores de humo	68
2.5.9.3. Detectores por ionización	68
2.5.9.4. Detector fotoeléctrico	68



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación y geográfica del estudio.....	69
3.1.1. Coordenadas geográficas	70
3.1.2. Sectores distribuidos por bloques	70
3.2. Periodo de duración del estudio.....	73
3.3. Materiales.....	73
3.4. Población y muestra del estudio	74
3.5. Evolución estadística de temperaturas en la zona de estudio	74
3.6. Procedimiento del estudio.....	76
3.6.1. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.....	76
3.6.2. Plan de tratamiento de datos	76
3.7. Identificación de variables	77
3.8. Método de estudio.....	77
3.8.1. Diseño de investigación.....	77
3.8.2. Nivel de investigación	77
3.8.3. Enfoque de investigación.....	78
3.8.4. Método de investigación.....	78
3.9. Análisis de los resultados.....	78
3.9.1. Diseño del sistema de escaleras presurizadas	80
3.9.1.1. Recolección de datos geométricos de las escaleras y del edificio ...	80
3.9.1.2. Datos generales de cálculo.....	81
3.9.1.3. Cálculos de presurización y flujos volumétricos de aire para sistemas de presurización sin vestíbulos previos ventilados.....	83



3.9.1.4. Cálculos de presurización y flujos volumétricos de aire para sistemas de presurización con vestíbulos previos ventilados.....	85
3.9.1.5. Cálculo de ventilación de vestíbulos	86
3.9.1.6. Diseño de conductos de aire	87
3.9.1.7. Cambios de presión a través de la ruta con mayor pérdida de presión estática	106

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del estudio	108
4.1.1. Sistema tipo I.....	108
4.1.2. Sistema tipo II.....	108
4.1.3. Evaluación económica.....	113
4.2. Discusión de los resultados.....	115
V. CONCLUSIONES.....	120
VI. RECOMENDACIONES.....	122
VII. REFERENCIAS.....	124
PLANOS.....	126
ANEXOS.....	134

Área : Ingeniería Mecánica.

Tema : Presurización de escaleras de emergencia por inyección mecánica de aire.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 15 de marzo 2021.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujo de aire por acción del Efecto Chimenea.	34
Figura 2. Esquema de presurización con ventilador montado en techo.	36
Figura 3. Distribución de las rejillas de inyección y extracción en vestíbulos.....	39
Figura 4. Transición rectangular piramidal (SR4-2).....	54
Figura 5. Codo rectangular sin vanos (CR3-1).....	55
Figura 6. TEE de derivación lateral (SR5-5).....	56
Figura 7. TEE divisor de flujo de aire (SR5-13).	57
Figura 8. Persiana reguladora contraincendios.....	58
Figura 9. Ventilador centrífugo.	60
Figura 10. Tipos de rotores.	61
Figura 11. Álabes curvos hacia adelante, radiales y curvos hacia atrás.	62
Figura 12. Álabes inclinados hacia atrás y radiales.....	62
Figura 13. Curvas características del sistema de ventilación y el ventilador.	64
Figura 14. Esquema de variador de velocidad.....	68
Figura 15. Ubicación del Hospital Materno Infantil en la ciudad de Juliaca.	69
Figura 16. Plano de planta del primer nivel.....	71
Figura 17. Plano de planta del segundo nivel.	71
Figura 18. Plano de planta del tercer nivel.	72
Figura 19. Plano de zonificación según bloques.	72
Figura 20. Evolución de temperaturas máximas y mínimas en la ciudad de Juliaca desde enero del 2018 hasta setiembre del 2020.....	76
Figura 21. Diagrama de flujo del proceso de diseño de escaleras presurizadas.	79
Figura 22. Detalle de alturas por nivel en la caja de escaleras.	83



Figura 23. Esquemas de distribución de aire para la construcción de conductos para la presurización de cajas de escaleras.	87
Figura 24. Esquemas de distribución de aire para la construcción de conductos para la ventilación de vestíbulos.....	88
Figura 25. Ductos triangulares de ventilación.	88
Figura 26. Representación teórica de las máximas dimensiones del conducto rectangular troncal, (región sombreada).	89
Figura 27. Accesorio SR5-13 con tramos definidos.....	97
Figura 28. Ruta crítica de caída de presión para IC-E.01.....	106
Figura 29. Ruta crítica de caída de presión para IC-E.02.....	106
Figura 30. Ruta crítica de caída de presión para IC-E.03.....	107
Figura 31. Ruta crítica de caída de presión para EC-E.04.....	107



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Mínima diferencia de presión entre la escalera y la edificación.....	42
Tabla 2. Máxima diferencia de presión a través de puertas.....	45
Tabla 3. Diámetros circulares equivalentes de conductos rectangulares (parte 1).	49
Tabla 4. Diámetros circulares equivalentes de conductos rectangulares (parte 2).	49
Tabla 5. Rugosidades absolutas de los materiales.	51
Tabla 6. Máxima velocidad recomendada de conductos para sistemas convencionales.....	53
Tabla 7. Resumen mensual de temperaturas máximas y mínimas durante los años 2018, 2019 y 2020.	75
Tabla 8. Pérdidas de presión en conductos principales para IC-E.01.....	98
Tabla 9. Pérdidas de presión en conductos secundarios para IC-E.01.....	99
Tabla 10. Pérdidas de presión en conductos principales para IC-E.02.....	100
Tabla 11. Pérdidas de presión en conductos secundarios para IC-E.02.....	101
Tabla 12. Pérdidas de presión en conductos principales para IC-E.03.....	102
Tabla 13. Pérdidas de presión en conductos secundarios para IC-E.03.....	103
Tabla 14. Pérdidas de presión en conductos principales para EC-E.04.....	104
Tabla 15. Pérdidas de presión en conductos secundarios para EC-E.04.	105
Tabla 16. Metrado general y presupuesto de instalación de los cuatro sistemas de presurización planteados.....	114
Tabla 17. Resultado de caudal de aire para la presurización de sistemas de tipo I.	115
Tabla 18. Resultados de cálculo de caudal de aire, según Calderón R., M. A. (2018).....	115
Tabla 19. Resultado de caudal de aire para la presurización de sistemas de tipo II. ...	116
Tabla 20. Resultados de caudal de aire para inyección de aire en vestíbulos.....	116



Tabla 21. Resultados de caudal de aire para extracción de aire en vestíbulos.....	117
Tabla 22. Resultado de caudales de aire para presurización de una caja de escaleras y vestíbulos ventilados, según el trabajo de Cruz Ojeda (2017).....	117
Tabla 23. Equipos de Ventilación para sistemas de tipo I y II.	118
Tabla 24. Parámetros de selección del equipo de presurización de escaleras, según el estudio de Vargas Cortez (2006).....	119



ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1. Ubicación de escaleras presurizadas y vestíbulos ventilados.	126
Plano 2. Vista 3D de escaleras presurizadas sin vestíbulo ventilado.	127
Plano 3. Corte lateral de escalera presurizada sin vestíbulo ventilado.	128
Plano 4. Planos de planta de escaleras presurizadas sin vestíbulo ventilado.	129
Plano 5. Vista 3D de escaleras presurizadas con vestíbulo ventilado.	130
Plano 6. Corte lateral de escalera presurizada con vestíbulo ventilado.	131
Plano 7. Plano de planta de escaleras presurizadas con vestíbulo ventilado (parte I).	132
Plano 8. Plano de planta de escaleras presurizadas con vestíbulo ventilado (parte II).	133



ÍNDICE DE ANEXOS

1. Datos meteorológicos SENAMHI.	134
Tabla 1.1: Datos meteorológicos correspondientes al 01 y 02 de febrero del 2020....	134
Tabla 1.2: Datos meteorológicos correspondientes al 03 y 04 de febrero del 2020....	135
Tabla 1.3: Datos meteorológicos correspondientes al 05 y 06 de febrero del 2020....	136
Tabla 1.4: Datos meteorológicos correspondientes al 07 y 08 de febrero del 2020....	137
Tabla 1.5: Datos meteorológicos correspondientes al 09 y 10 de febrero del 2020....	138
Tabla 1.6: Datos meteorológicos correspondientes al 11 y 12 de febrero del 2020....	139
Tabla 1.7: Datos meteorológicos correspondientes al 13 y 14 de febrero del 2020....	140
Tabla 1.8: Datos meteorológicos correspondientes al 15 y 16 de febrero del 2020....	141
Tabla 1.9: Datos meteorológicos correspondientes al 17 y 18 de febrero del 2020....	142
Tabla 1.10: Datos meteorológicos correspondientes al 19 y 20 de febrero del 2020..	143
Tabla 1.11: Datos meteorológicos correspondientes al 21 y 22 de febrero del 2020..	144
Tabla 1.12: Datos meteorológicos correspondientes al 23 y 24 de febrero del 2020..	145
Tabla 1.13: Datos meteorológicos correspondientes al 25 y 26 de febrero del 2020..	146
Tabla 1.14: Datos meteorológicos correspondientes al 27 y 28 de febrero del 2020..	147
Tabla 1.15: Datos meteorológicos correspondientes al 29 de febrero del 2020.....	148
Tabla 1.16: Resumen datos meteorológicos correspondientes a enero del 2018 hasta abril del 2019.	149
Tabla 1.17: Resumen datos meteorológicos correspondientes a mayo del 2019 hasta setiembre del 2020.	150
2. Catálogos de Selección de Elementos Constructivos.	151
Tabla 2.1. Selección de rejillas con dámper cortafuego ubicados en pared.	151
Tabla 2.2. Selección de rejilla con dámper cortafuego ubicado en techo.....	152



Tabla 2.3. Dimensiones estándares de planchas de fierro galvanizado.	153
3. Curvas de Operación de Equipos Seleccionados.	154
Fig. 3.1. Punto de operación de IC-E.01.	154
Fig. 3.2. Punto de operación de IC-E.02.	154
Fig. 3.3. Punto de operación de IC-E.03.	155
Fig. 3.4. Punto de operación de EC-E.04.	155
4. Carta de Fricción Para Conductos Circulares.	156
Fig. 4.1. Carta de fricción en condiciones estándares.	156



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

FT	: Factor de temperatura.
T	: Temperatura de aire.
DP	: Diferencia de presión.
S	: Área de flujo de aire.
h	: Altura total de la caja de escaleras.
FM	: Flujo másico de aire.
FV, Q	: Flujo volumétrico de aire.
K	: Factor de flujo de aire.
F	: Fuerza máxima de apertura de la puerta.
Fi	: Fuerza de cierre de la puerta.
d	: Distancia entre la perilla y el borde de cierre de la puerta.
Wd	: Ancho de la puerta.
Hd	: Alto de la puerta.
Pd	: Perímetro de la puerta.
Hmax	: Altura máxima de diseño.
De	: Diámetro equivalente.
W	: Ancho del conducto rectangular.
H	: Alto del conducto rectangular.
ΔP_f	: Caída de presión por fricción.
$\Delta P_f / L$: Caída de presión por fricción por tramo de longitud.
L	: Longitud de tramo de conducto.
f	: Factor de rozamiento.
PV	: Presión de velocidad.



- ε : Rugosidad absoluta de los materiales.
- Re** : Número de Reynolds.
- V** : Velocidad del aire.
- v** : Viscosidad cinemática.
- ρ : Densidad del aire.
- PE** : Presión estática del ventilador.
- n** : Velocidad de rotación del ventilador.
- P** : Presión de trabajo del ventilador.
- N** : Potencia absorbida por el ventilador.
- RNE** : Reglamento nacional de edificaciones.
- NTP** : Norma Técnica Peruana.
- NFPA** : National Fire Protection Association.
- ASHRAE** : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.



RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de resolver el problema de la carencia de presurización en las vías de circulación vertical de emergencia en la obra de la construcción del Hospital Materno Infantil de la ciudad de Juliaca, provincia de San Román, departamento de Puno, Perú. El periodo de estudio está comprendido desde enero del 2018 hasta setiembre del 2020. Se planteó como objetivo principal, diseñar un sistema de escaleras presurizadas de emergencia por inyección mecánica de aire. Teniendo como objetivos específicos, determinar el procedimiento para hallar el flujo volumétrico de inyección de aire para presurizar positivamente una escalera de emergencia que cuenten o no, con vestíbulos ventilados, también, determinar el flujo volumétrico de suministro de aire necesario para generar un cambio de aire por minuto en cada vestíbulo ventilado y el caudal de extracción de aire tal que sea el 150% del aire suministrado cada vestíbulo ventilado. Luego, seleccionar los equipos de ventilación adecuados para conseguir la presurización de escaleras de emergencia y la ventilación de vestíbulos. El diseño de estudio es de carácter experimental con un nivel de estudio explicativo, enfoque de investigación cuantitativa y método analítico. Se concluye que, para sistemas sin vestíbulos ventilados, se requiere suministrar 10169 l/s de aire para mantener como mínimo 12.45 Pa dentro de la caja de escaleras, con un equipo que logre vencer una presión de 324 Pa. Los sistemas con vestíbulos ventilados, deberán contar con equipos de 1182 l/s, con una presión de 282 Pa, para mantener como mínimo 24.91 Pa en el área de escaleras, además, para la ventilación de vestíbulos se requiere un inyector de 2343 l/s y extractor de 3516 l/s, con presiones de impulsión de 287 Pa y 154 Pa respectivamente.

Palabras Clave: Efecto Chimenea, Escaleras de Emergencia, Inyección y Extracción de Aire, Presurización, Vestíbulos Ventilados.



ABSTRACT

The present research work was carried out in order to solve the problem of lack of pressurization in the emergency vertical circulation routes in the construction site of the Maternal and Child Hospital in the city of Juliaca, province of San Román, department of Puno, Perú. The study period is from January, 2018 to September, 2020. The main objective was to design a system of pressurized emergency stairs by mechanical air injection. Having as specific objectives, analyze the procedure to find the volumetric flow of air injection to positively pressurize an emergency staircase that has or not, with ventilated hallways, also, determine the volumetric flow of air supply necessary to generate an air change per minute in each ventilated hall and the air extraction flow rate such that it is 150% of the air supplied to each ventilated hall. Next, select the appropriate ventilation equipment to achieve emergency stair pressurization and hallway ventilation. The study design is experimental, with an explanatory study level, with a quantitative research approach and an analytical method. It is concluded that, for systems without ventilated hallways, it is required to supply 10169 l/s of air to maintain a minimum of 12.45 Pa inside the stairwell, with a team able to overcome a pressure of 324 Pa. Systems with ventilated hallways must have 1182 l/s equipment, with a pressure of 282 Pa, to maintain a minimum of 24.91 Pa in the stairwell area, in addition, for hallway ventilation a 2343 l/s injector and 3516 l/s extractor is required, with impulse pressures of 287 Pa and 154 Pa respectively.

Key Words: Stack Effect, Emergency Stairs, Air Injection and Extraction, Pressurization, Ventiladed Halls.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las escaleras presurizadas se utilizan como vía de evacuación segura, ya que estas, evitan la entrada de humo hacia las áreas protegidas. Las escaleras pasan por un proceso mecánico de presurización al forzar el ingreso de aire fresco desde el exterior hacia la caja de escaleras. Este sistema consiste en la creación de una zona con presión positiva, utilizando para ello, un inyector de aire de tipo centrífugo, que impulsa grandes caudales de aire hacia el interior de la escalera de emergencia mediante una red de conductos de fierro galvanizado, que terminan en rejillas de descarga empotrados en muros y techo (Bonilla Martinez & Velarde Velásquez, 2008).

En la construcción del Hospital Materno Infantil de la ciudad de Juliaca, se notó la deficiencia en el diseño de las cuatro escaleras de emergencia previstas como vías de evacuación vertical, puesto que ninguna de ellas presenta un sistema de presurización. Este aspecto representaría un riesgo para las vidas de las personas por causa de la inhalación del humo, producto de un incendio.

El estudio pretende contribuir con la implementación del diseño de un sistema mecánico de inyección de aire, para que en un futuro den solución a la problemática de la falta de presurización en las vías de evacuación vertical de emergencia, por ello se planteó el siguiente objetivo general: diseñar un sistema de escaleras presurizadas de emergencia por inyección mecánica de aire, aplicado en la construcción del Hospital Materno Infantil de Juliaca. También se tiene como objetivos específicos: determinar el procedimiento para hallar el flujo volumétrico de inyección de aire para presurizar positivamente una escalera de emergencia sin vestíbulos previos ventilados, como también, las que si cuentan con vestíbulos ventilados. Determinar el flujo volumétrico de suministro de aire necesario para generar un cambio de aire por minuto en cada vestíbulo



previo ventilado. Determinar el flujo volumétrico de extracción de aire tal que sea el 150% del aire suministrado cada vestíbulo previo ventilado. Seleccionar los equipos de ventilación adecuados para conseguir la presurización de escaleras de emergencia y la ventilación de los vestíbulos.

De acuerdo con el análisis experimental realizado, se logró diseñar un sistema de escaleras presurizadas de emergencia inyectando mecánicamente el aire desde el medio ambiente hacia el interior de las cajas de escaleras, la cual genera una presión positiva en el interior de las zonas protegidas, evitando en todo momento, el ingreso de aire contaminado.

Esta tesis se estructura en siete capítulos:

- En el Capítulo I, se realiza la introducción del estudio, el planteamiento del problema de investigación, justificación del trabajo de investigación y el desarrollo de objetivos.
- En el Capítulo II, se da a conocer el marco teórico en la que se basan los procedimientos realizados.
- En el Capítulo III, especifica los materiales y los métodos empleados para la realización del estudio.
- En el Capítulo IV, se detalla los resultados y discusiones, producto del proceso al que fueron sometidos los datos utilizados.
- En el Capítulo V, se presentan las conclusiones obtenidas.
- En el Capítulo VI, se dan algunas recomendaciones para el diseño de escaleras presurizadas.
- En el capítulo VII, Se adjuntan las referencias empleadas en el actual trabajo de investigación.



1.1. Planteamiento del Problema de Investigación

A nivel mundial, la falta de rutas de evacuación de emergencia de personas en casos de incendios, son un problema muy grave. Klote (2016), menciona que. En 1980, un incendio en el MGM Grand Hotel (EE.UU.) resultó en 85 muertes. El fuego estaba casi completamente limitado al casino en la planta baja, pero alrededor del 75 por ciento de las muertes ocurrieron en los pisos superiores debido a la inhalación de humo.

En el Perú, muchas veces son olvidados aspectos tan importantes de la normativa vigente como es el tema de seguridad contra incendios, también como el asegurar que una edificación esté preparada para responder de modo aceptable a sucesos inesperados como son los incendios, de tal manera que sea capaz de asegurar la integridad y la perfecta evacuación de sus usuarios hacia el exterior de la edificación (Cruz Ojeda, 2017, p. 13).

En la región de Puno, la instalación de sistemas de presurización de escaleras de emergencia por suministro de aire, es un tema relativamente nuevo, razón por la cual, la mayoría de edificaciones públicas y privadas existentes no contemplan el sistema en mención, poniendo en riesgo las vidas de los ocupantes en un caso fortuito de incendio.

En el lugar elegido para el estudio, Hospital Materno Infantil de la ciudad de Juliaca, que hasta la fecha está en pleno proceso de construcción. Lamentablemente presenta deficiencias en el diseño de escaleras de emergencia, ya que, ninguna de ellas presenta presurización alguna. Esto es perjudicial, pues las vías de evacuación vertical ya no serían seguras si ocurriese un incendio, por la presencia de humo en sus interiores.

Se asume que, por la falta de criterios técnicos y por la poca información del tema en mención, no se consideró la elaboración del diseño de escaleras presurizadas de emergencia en el expediente técnico final para la ejecución del Hospital Materno Infantil de Juliaca, provocando que haya una carencia de sistemas de presurización en las escaleras de emergencia.



Si se omitiera la instalación de sistemas de presurización de escaleras, se podría ocasionar la pérdida de vidas humanas en las vías de circulación vertical de emergencia por asfixia en un incendio inesperado, ya que el humo podría ingresar fácilmente al interior de las cajas de escaleras.

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación pretende implementar el diseño un sistema de presurización de escaleras de emergencia por inyección mecánica de aire a través de ventiladores centrífugos, para crear presiones positivas en el interior de la caja de escaleras y evitar el ingreso de humo a la zona presurizada.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo diseñar un sistema de escaleras presurizadas de emergencia por inyección mecánica de aire, aplicado en la construcción del Hospital Materno Infantil de Juliaca?

1.2.2. Problemas Específicos

- a) ¿Cuál es el procedimiento para hallar el flujo volumétrico de inyección de aire para presurizar positivamente una escalera de emergencia sin vestíbulos previos ventilados?
- b) ¿Cuál es el procedimiento para hallar el flujo volumétrico de inyección de aire para presurizar positivamente una escalera de emergencia con vestíbulos previos ventilados?
- c) ¿Cómo determinar el flujo volumétrico de suministro de aire necesario para generar un cambio de aire por minuto en cada vestíbulo previo ventilado?
- d) ¿Cómo determinar el flujo volumétrico de extracción de aire tal que sea el 150% del aire suministrado en cada vestíbulo previo ventilado?
- e) ¿Cómo seleccionar los equipos de ventilación adecuados para conseguir la presurización de escaleras de emergencia y la ventilación de los vestíbulos?



1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis General

La presurización de una escalera de emergencia se logra por la inyección mecánica de flujos volumétricos de aire, en la construcción del Hospital Materno Infantil de Juliaca.

1.3.2. Hipótesis Específicas

- a) Un adecuado flujo volumétrico de inyección de aire permite presurizar positivamente una escalera de emergencia sin vestíbulos previos ventilados.
- b) Un adecuado flujo volumétrico de inyección de aire permite presurizar positivamente una escalera de emergencia con vestíbulos previos ventilados.
- c) La aplicación de un correcto flujo volumétrico de suministro de aire permite generar un cambio de aire por minuto en cada vestíbulo previo ventilado.
- d) La extracción de flujo volumétrico de aire es el 150% de aire que se suministra en cada vestíbulo previo ventilado.
- e) La apropiada selección de los equipos de ventilación permite la óptima presurización de una escalera de emergencia y la ventilación de los vestíbulos.

1.4. Justificación del Trabajo de Investigación

Ante la falta de implementación de instalaciones de sistemas de presurización en las escaleras de emergencia aplicadas especialmente en establecimientos hospitalarios, resulta de especial interés conocer su funcionamiento y a partir de ahí adoptar los criterios necesarios de diseño que garanticen el funcionamiento óptimo del sistema, por si se presentara un incendio.

El desarrollo de este trabajo de investigación es conveniente, pues aplica la metodología de diseño que se emplea a nivel mundial para sistemas de presurización de escaleras. Dicha metodología se basa en los procedimientos planteados por la prestigiosa



Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.

La razón por la que se realizó esta investigación fue para resolver el problema de la carencia de presurización en las vías de circulación vertical (escaleras) de emergencia en la obra de la construcción del Hospital Materno Infantil de la ciudad de Juliaca, ya que, Según la Norma Técnica Peruana A.010, todas las escaleras de emergencia necesariamente deben contar con un sistema de presurización. Además, esto implica la ventilación de vestíbulos previos a las escaleras de emergencia, si es que existieran.

La utilidad de esta tesis radica en la aplicación de técnicas de diseño en los proyectos de presurización en escaleras de emergencia, tomado para ello, las condiciones ambientales más extremas de la ciudad de Juliaca.

El aporte que este estudio de investigación provee son los procedimientos necesarios para crear diseños de presurización de escaleras de emergencia, utilizando para ello, la inyección mecánica de aire, con el fin de generar vías de evacuación vertical de emergencia libres de humo para personas en un caso fortuito de incendio.

1.5. Objetivos de la Investigación

1.5.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de escaleras presurizadas de emergencia por inyección mecánica de aire, aplicado en la construcción del Hospital Materno Infantil de Juliaca.

1.5.2. Objetivos Específicos

- a) Establecer el procedimiento para hallar el flujo volumétrico de inyección de aire para presurizar positivamente una escalera de emergencia sin vestíbulos previos ventilados.
- b) Establecer el procedimiento para hallar el flujo volumétrico de inyección de aire para presurizar positivamente una escalera de emergencia con vestíbulos previos ventilados.



- c) Determinar el flujo volumétrico de suministro de aire necesario para generar un cambio de aire por minuto en cada vestíbulo previo ventilado.
- d) Determinar el flujo volumétrico de extracción de aire tal que sea el 150% del aire suministrado cada vestíbulo previo ventilado.
- e) Seleccionar los equipos de ventilación adecuados para conseguir la presurización de escaleras de emergencia y la ventilación de los vestíbulos.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la Investigación

Según Panindre et al. (2018), el flujo de humo, calor y otros productos de combustión creados por la propagación del fuego se pueden expulsar de manera eficiente mediante la presurización de las escaleras que crea un ambiente más seguro para los bomberos. Esto se logra al dirigir una cantidad significativa de aire hacia la caja de la escalera del edificio y los pasillos públicos mediante el despliegue de un ventilador que crea una zona de presión positiva. La presurización en una estructura compleja con múltiples cajas de escaleras, puede ser más complicada que en un escenario típico de caja de escalera único.

De acuerdo a Kim et al. (2017), en un edificio de gran altura, el efecto chimenea ocurre a través de un pasaje vertical, como la caja de la escalera o el de un elevador debido a una diferencia en la temperatura interior a exterior en invierno y verano. Dado que este efecto chimenea conduce a efectos adversos en términos de entorno residencial, energía y prevención de desastres, es necesario proponer medidas para controlar la diferencia de presión causada por el efecto chimenea. En este estudio, se desarrollaron medidas útiles que pueden controlar el efecto chimenea en la caja de la escalera de un edificio de gran altura a través de experimentos de campo en una situación en la que se produce el efecto chimenea, y la viabilidad de la técnica de control de efecto chimenea propuesta se revisó a través de un estudio completo a gran escala en el edificio real durante la temporada de invierno.

El efecto chimenea según Simmonds & Zhu (2013), es el resultado de la diferencia de densidad entre el aire frío y más denso fuera del edificio y el aire cálido y menos denso dentro del edificio. El diferencial de presión creado por el efecto chimenea es



directamente proporcional a la altura del edificio, así como a la diferencia entre las temperaturas cálidas del interior y las frías temperaturas exteriores. Cuando la temperatura exterior del edificio es más cálida que la temperatura dentro del edificio, el fenómeno del efecto chimenea se invierte. Esto significa que, en climas muy cálidos, el aire ingresa al edificio en los pisos superiores, fluye a través del edificio y sale por los pisos inferiores. La causa del efecto de apilamiento inverso es la misma porque es causada por las diferencias de densidad entre el aire en el edificio y el aire fuera del edificio, pero en este caso, el aire más pesado y denso está dentro del edificio.

Para Bellido et al. (2009), El diseño de los sistemas de presurización consiste en la cuantificación del flujo de aire requerido que compensará las fugas y permitirá que la escalera permanezca a una presión superior a la ambiental. Esto evitará que el humo entre en la escalera y resultará en un ambiente seguro para aquellos que evacúan y los bomberos que puedan usar la escalera durante sus procedimientos de intervención. Este es un componente crítico de la estrategia de seguridad contra incendios para las estructuras más complejas, como los edificios de gran altura, donde las distancias máximas de salida solo se pueden lograr hacia la escalera y no hacia el exterior.

Vargas Cortez (2006), afirma que un sistema de control de humos no es suficiente para asegurar la protección total contra el fuego y el humo. Estos sistemas se deben complementar con otros tipos de sistemas como son las barreras contra fuego, rutas de escape debidamente señaladas, sistema de rociadores y de agua contra incendio, sistema de detección y de alarma de incendio, etc. Otro aspecto importante es, que la fiabilidad de la fuente de potencia eléctrica para activar el ventilador del sistema de presurización de escaleras durante una emergencia debe ser cuidadosamente estudiado. Cualquiera sea la ocurrencia, el suministro de energía al ventilador o ventiladores de presurización no debe ser interrumpido. Además, todo sistema de control de humos, y en nuestro caso el



sistema de presurización de escaleras, no va a ser efectivo si es que no se inculca una cultura de prevención a los ocupantes del edificio.

Según Calderón Rivera (2018), se realizarán los cálculos para poder seleccionar con el caudal del aire el equipo electromecánico, que tendrá como función llenar de aire la caja de escalera obteniendo una presión positiva, evitando así el ingreso de humos contaminantes. El diseño de un sistema de presurización de escaleras tiene como fin brindar la seguridad de las personas para que puedan evacuar por las escaleras de escape, tranquilos y ordenados libres de los humos contaminantes por un tiempo prolongado. El diseño de presurización de escaleras, así como está basada en las normas de seguridad humana NFPA 101, también se tiene que cumplir el Reglamento Nacional de Edificaciones, el cual te presenta la estructuración que debe tener la escalera de evacuación, así como las puertas y la fuerza máxima que no debe exceder para poder abrir (30 lbf); El cumplimiento de ellas, te da un respaldo y te garantizan que el sistema cumplirá su cometido, y sólo así será aprobado por INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil).

Para Cruz Ojeda (2017), 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. 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.



Según Bonilla Martínez & Velarde Velásquez (2008), para realizar el control de humos mediante presurización en vías de evacuación de edificios, es necesario contar con una caja de escaleras, en escaleras abiertas este sistema no es aplicable porque no se puede mantener el nivel de presión necesaria. 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. Para una mayor efectividad de este sistema de control de humos, es necesario presurizar la caja de escaleras y un vestíbulo que conecta la caja con un pasillo no presurizado. Una de las restricciones de la presurización son las pérdidas de presión que se producen en el sistema de ductos, por lo cual, el ventilador debe poseer caudal y presión que garantice el funcionamiento del sistema. La presurización es un método costoso, debido a los equipos necesarios para la activación y control de todo el sistema, entre los más importantes: ventilador, sistema de ductos, dampers, detectores de humo, sistemas de control automático y puertas corta fuego; por este motivo en edificios del país se suele utilizar la técnica de presurizar únicamente la caja de escaleras, este proceso es el más sencillo y menos costoso dentro de los métodos de presurización.

Klote et al. (2012) indica que, la diferencia de presión a través de una barrera de presión no debe resultar en fuerzas de apertura de la puerta que excedan los valores máximos estipulados en los códigos. Por ejemplo, en la NFPA 101 esta fuerza máxima es de 30 lb (133 N). La fuerza del cierrapuertas es la fuerza necesaria para vencer el dispositivo de cierre. La fuerza del cierrapuertas no es constante durante la oscilación de la puerta y puede aumentar a medida que la puerta se abre. Cuando se abre la puerta de un sistema de control de humo, la presión cae.

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (2014), para la ventilación de vestíbulos, se deberá cumplir los siguientes criterios de diseño: a) El vestíbulo deberá de



contar con por lo menos un cambio de aire por minuto. b) La extracción de aire en el vestíbulo deberá ser el 150% de la inyección de aire al vestíbulo. c) Los ductos de inyección y extracción deberán ser independientes entre sí, y únicamente podrán ser usados con propósitos de ventilación, ningún otro tipo de instalación será permitida al interior de estos ductos. d) La base de la rejilla de inyección de aire deberá de ubicarse a no más de 0,15 m sobre el nivel del piso, al interior del vestíbulo. e) La parte superior de la rejilla de extracción de aire, deberá de ubicarse a no más de 0,15 cm debajo del nivel del techo, al interior del vestíbulo. f) Cuando las puertas de la escalera se encuentran abiertas no deberán de obstruir las rejillas de inyección o extracción. g) Entre la parte superior del vano de la puerta y el nivel del techo, deberá haber una distancia de 50 cm, con el fin de que el vestíbulo se convierta en una trampa de humos. Son permitidas distancias menores cuando el diseño de ingeniería del sistema de extracción, así como las pruebas de campo lo sustenten. h) La escalera (área de gradas) deberá de contar con un dámper de alivio de presión en la parte superior, de funcionamiento mecánico, con capacidad suficiente para descargar al menos $70,8 \text{ m}^3/\text{min}$.

2.2. Glosario de Términos Básicos

- **Altura Límite:** Altura máxima de diseño que permite garantizar un funcionamiento óptimo del sistema.
- **Caja de Escaleras:** Es el interior de la escalera de evacuación que ha de ser presurizada.
- **Flujo Volumétrico de Aire:** Es la cantidad de aire requerida para lograr presurizar una caja de escaleras.
- **Dámper de Alivio:** Permite evitar la sobrepresión dentro de la caja de escleras, por una probable avería de los sistemas de control.
- **Densidad del Aire:** Es la cantidad de masa por unidad de volumen que contiene



la atmósfera terrestre, cuyo valor sufre variación según la altura sobre el nivel del mar.

- **Diferencial de Presión:** Es la diferencia de presión que hay entre la caja de escaleras y sus alrededores.
- **Presurización:** Consiste en mantener constante la presión en un espacio hermético.
- **Sensor de Presión:** Mide la diferencia de presión entre la parte presurizada y los ambientes comunes del recinto hospitalario.
- **Variador de Frecuencia:** Sirve para regular la velocidad de rotación de los motores de corriente alterna.
- **Velocidad del Aire:** Es la rapidez o lentitud con la que se mueve el aire en el interior de los ductos transportadores de aire.
- **Vestíbulo Previo Ventilado:** Es el ambiente anterior a la escalera de evacuación, la cual requiere al menos 60 renovaciones por hora.

2.3. Marco Teórico

2.3.1. Definición de Incendio

Según Anero Cárcamo (2007), Se considera incendio a la combustión y abrasamiento con llama, capaz de propagarse de un objeto u objetos que no estaban destinados a ser quemados en el lugar y momento en que se produce. Además, define a la combustión como el desarrollo de una reacción química de oxidación-reducción. Para que pueda darse es preciso que coexistan tres elementos, el combustible que pueda arder, el comburente que permita la reacción (normalmente el oxígeno del aire), y el calor o energía de activación que inicie la reacción.



2.3.2. Fuerzas Impulsoras de Movimiento de Humo

2.3.2.1. Efecto Chimenea

Es el empuje que aire ejerce sobre la parte alta o baja de la caja de escaleras, por acción de la variación de las temperaturas. Algunos autores han afirmado lo siguiente: Cuando el ambiente externo se encuentra a una temperatura menor que el interior del edificio, se genera frecuentemente un movimiento del aire en los espacios cerrados que van a lo largo de todo el edificio, como son las cajas de las escaleras, el espacio por donde transitan los elevadores, los ductos de basura, etc. El aire en el edificio tiene una fuerza de empuje debido a que está más caliente y por lo tanto menos denso que el aire exterior al edificio. La fuerza de empuje causa que el aire se eleve en estos espacios o columnas del edificio, produciéndose un flujo del aire de abajo hacia arriba. Este fenómeno es conocido también como efecto chimenea. Por otro lado, cuando el ambiente exterior al edificio está más caliente que el interior, se genera un fenómeno inverso, donde el flujo del aire es de arriba hacia abajo. (Vargas Cortez, 2006, p. 21)

Bonilla Martinez & Velarde Velásquez (2008) mencionan que: El efecto chimenea es la presión diferencial debido al aire dentro de un edificio por tener una temperatura diferente al aire exterior. Esto causará al aire interior del edificio a moverse hacia arriba o abajo, dependiendo si el aire interior está más caliente o más frío que el aire exterior. (p. 64)

El efecto chimenea es responsable de la mayor parte de los movimientos naturales del aire en el interior de los edificios normales. Durante un incendio este efecto es, a menudo, responsable de la amplia distribución de humo y gases tóxicos en edificios de gran altura. Los informes de incendios confirman que el humo puede circular por los huecos de escaleras y de ascensores en volúmenes importantes, aunque las puertas de accesos a estos lugares estén cerradas. El efecto chimenea produce una fuerte y

característica corriente ascendente desde la planta baja a la última de los edificios altos. Su magnitud está en función de la altura del edificio, de la estanqueidad frente al aire de los cerramientos exteriores, de las filtraciones entre los pisos del edificio y de las diferencias de temperatura entre el interior y el exterior. (Carcamo Diaz, 2012, p. 55)

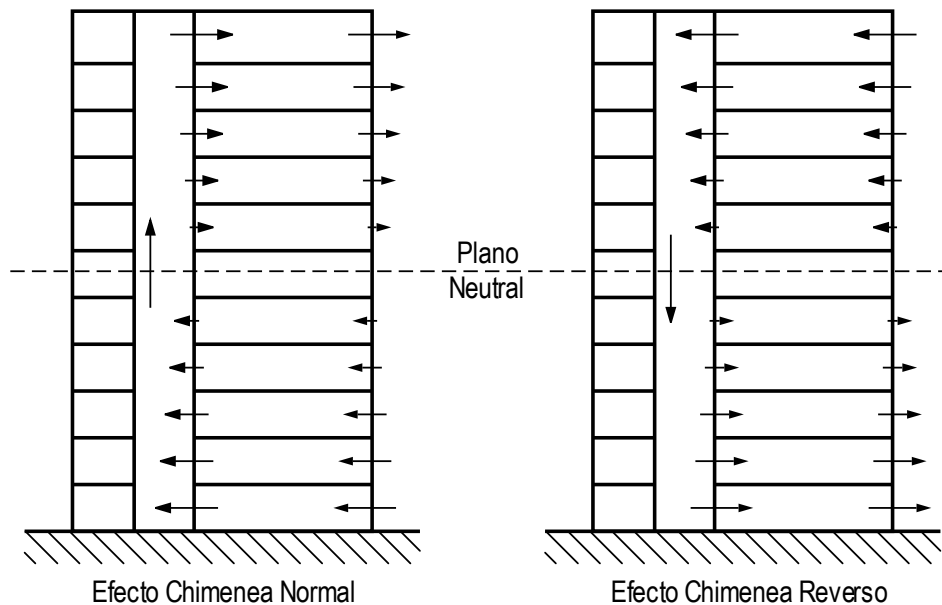


Figura 1: Flujo de aire por acción del Efecto Chimenea.

Fuente: *Handbook of Smoke Control Engineering* (p. 128), Klote, J. H., Milke, J. A., Turnbull, P. G., Kashef, A., & Ferreira, M. J., 2012.

2.3.3. Escaleras de Evacuación

El hospital Materno Infantil de la ciudad de Juliaca, por disposición de los planos de arquitectura ya definidos, cuentan con cuatro escaleras de evacuación, dos de ellas con vestíbulos previos ventilados, y las dos restantes no cuentan con vestíbulos previos. Razón por la cual se detallan los siguientes conceptos:

2.3.3.1. Escaleras Presurizadas Sin Vestíbulos Previos Ventilados

Según McDowall (2008), las escaleras presurizadas se diseñan y construyen para proporcionar una ruta de escape sostenible en caso de incendio en un edificio. También se proporcionan un área de acceso para los bomberos al piso donde se produce el siniestro. Una escalera presurizada debe mantener una diferencia de presión positiva a través de

una puerta de escalera cerrada para que el humo no entre en la escalera durante situaciones de incendio en edificios, algunas puertas de escaleras se abren de forma intermitente durante la evacuación y la extinción de incendios, el flujo de aire a través de la puerta debe ser suficiente para evitar el reflujo de humo. Diseñar un sistema de este tipo es difícil debido a las muchas combinaciones de puertas de escalera abiertas y las condiciones climáticas que afectan el flujo de aire.

McDowall (2008), añade que, el ventilador de presurización de la caja de la escalera debe tener un tamaño que permita que las puertas se abran a los pisos y, a menudo, al exterior durante el incendio. Si no hay puertas abiertas, la presión estática podría aumentar fácilmente lo suficiente como para dificultar la apertura de las puertas. Para evitar esta sobrepresurización, a menudo se proporciona alguna forma de control de presión. Se puede utilizar un simple amortiguador de alivio barométrico para aliviar cualquier exceso de presión en la atmósfera. Alternativamente, los sensores de presión que miden la presión entre un piso y la caja de la escalera pueden controlar una compuerta en un conducto de cortocircuito alrededor del ventilador. Cuando la presión sube por encima de la presión del punto de ajuste, la compuerta se abre para permitir que el aire haga un cortocircuito alrededor del ventilador, lo que reduce su capacidad.

La fuerza de diseño máxima permitida a través de una puerta es típicamente de 133.45 N para que pueda abrirse. La presión mínima para contener el humo es de aproximadamente 24.91 Pa (cuando el edificio no cuenta con rociadores de agua), por lo que el control de presión debe diseñarse para mantener la presión desde el piso hasta la escalera en ese rango. Los controles para limitar las presiones diferenciales en las puertas son muy complicados y difíciles de mantener (McDowall, 2008).

Es posible la instalación del inyector en la parte alta (figura 2) o baja del edificio, tal que garantice el ingreso libre de aire fresco hacia la entrada del ventilador.

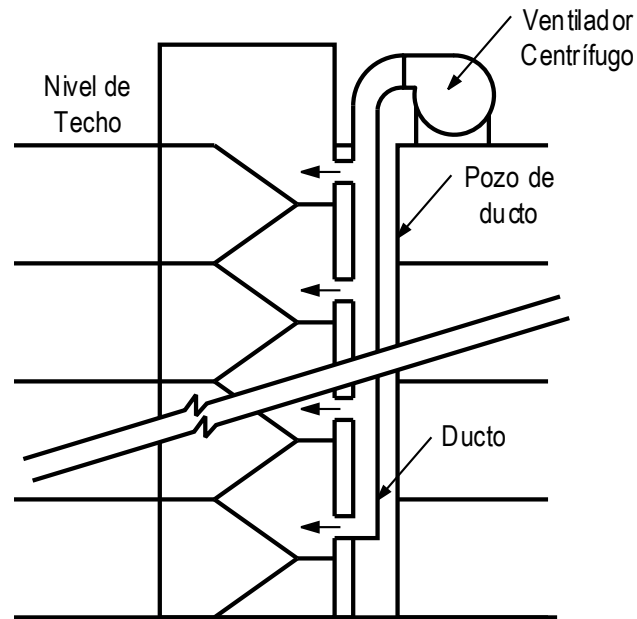


Figura 2: Esquema de presurización con ventilador montado en techo.

Fuente: *Fundamentals of air system design* (p.11), por McDowall, R., 2008.

Con la finalidad de disponer de una vía de evacuación segura en caso de incendio, se ha proyectado un sistema de presurización para las 04 escaleras de emergencia del hospital. Al producirse un incendio, éste deberá ser detectado por el sistema de protección contra incendios implementado en el edificio, enviando una señal que pondrá en operación al ventilador del sistema de presurización de escalera de escape, el cual inyectará aire al ducto de mampostería previsto en el edificio y que contará con rejillas de descarga de aire al nivel de cada uno de los pisos, logrando así, presurizar la escalera y evitando el ingreso de humo producto del siniestro.

La diferencia de presión mínima a mantenerse en la escalera, según la norma NFPA 92 A, para evitar el ingreso de humos, es de 12.45 Pa.

Esta presión positiva será suficiente para evitar que el humo producido por el incendio ingrese a la escalera de emergencia a través de las puertas de escape de cada uno de los pisos.

Por otro lado, este valor de la presión positiva ha sido determinado, teniendo



presente que no deberá representar una resistencia que dificulte la apertura rápida de las puertas de escape de cada uno de los pisos. La norma NFPA 92 A, establece que la fuerza requerida para la apertura de puertas no deberá superar las 30 lb-f (133 N).

En la escalera de escape, se instalará 01 sensor/transmisor de presión diferencial que comandará al variador de frecuencia y este a su vez al motor del inyector, regulando la velocidad de rotación del mismo, de tal modo que se mantenga la presión estática de 12.45 Pa.

La alimentación eléctrica del motor del ventilador de presurización deberá considerar dos fuentes de suministro independientes y, además, de transferencia automática de uno al otro en caso de que falle el primero. Asimismo, la instalación de la alimentación eléctrica deberá ser hecha de tal forma que no sea interrumpida por el fuego.

El encendido del ventilador será a través de un arrancador magnético, el cual se activará con el ingreso de la señal del sistema contra incendio a sus respectivas borneras.

El sistema proyectado estará compuesto por los siguientes elementos:

- Ventilador centrífugo instalado en el lugar indicado en los planos.
- Ductos de plancha galvanizada que conecta a la descarga del ventilador y al ducto de mampostería.
- Rejillas de descarga de aire provisto de dámperes de regulación manual, para cada nivel.
- Sensor/transmisor de presión diferencial.
- Variador de frecuencia comandado por el sensor/transmisor de presión diferencial y que regulará la velocidad de rotación del motor.
- Dámper de alivio.
- Tablero eléctrico con arrancador y contacto seco para recibir la señal del sistema contra incendios y detectores de humo.



2.3.3.2. Escaleras Presurizadas Con Vestíbulos Previos Ventilados

Con la finalidad de disponer de una vía de evacuación segura en caso de incendio, se ha previsto un sistema de ventilación a los vestíbulos previos de 02 escaleras de emergencia del Hospital.

Al producirse un incendio, éste deberá ser detectado por el sistema de protección contra incendios implementado en el edificio de tres pisos del hospital, enviando una señal que pondrá en operación al inyector y extractor de los vestíbulos y así mismo al inyector del cajón de la escalera. Los equipos destinados para los vestíbulos, inyectarán y extraerán el aire a través de ductos de mampostería previsto en el edificio, se contarán con rejillas de descarga y extracción de aire respectivamente en cada uno de los pisos, logrando así, la evacuación del humo al producirse un siniestro. El inyector del cajón de la escalera tendrá la función de presurizar dicha escalera, evitando así, el ingreso de humo producto del siniestro.

El diseño deberá garantizar que el sistema de ventilación mecánica se active de forma automática, cuando se genere un evento de incendio en la edificación del hospital, por lo que deberá de interconectarse con el sistema de detección y alarma de incendios de la edificación. El suministro de energía necesario para el funcionamiento de los sistemas de ventilación mecánica, deberá ser protegido contra incendios con una resistencia no menor a dos horas. Los ventiladores mecánicos deberán ser abastecidos por una fuente secundaria de energía. La activación automática del sistema deberá de efectuarla un detector de humo ubicado dentro de los 3 m de la puerta de entrada del hall al vestíbulo previo.

El diseño, cálculo y dimensionamiento del sistema de extracción mecánica y sus componentes deberán ser efectuados de acuerdo a los requerimientos establecidos en la NTP A.010.

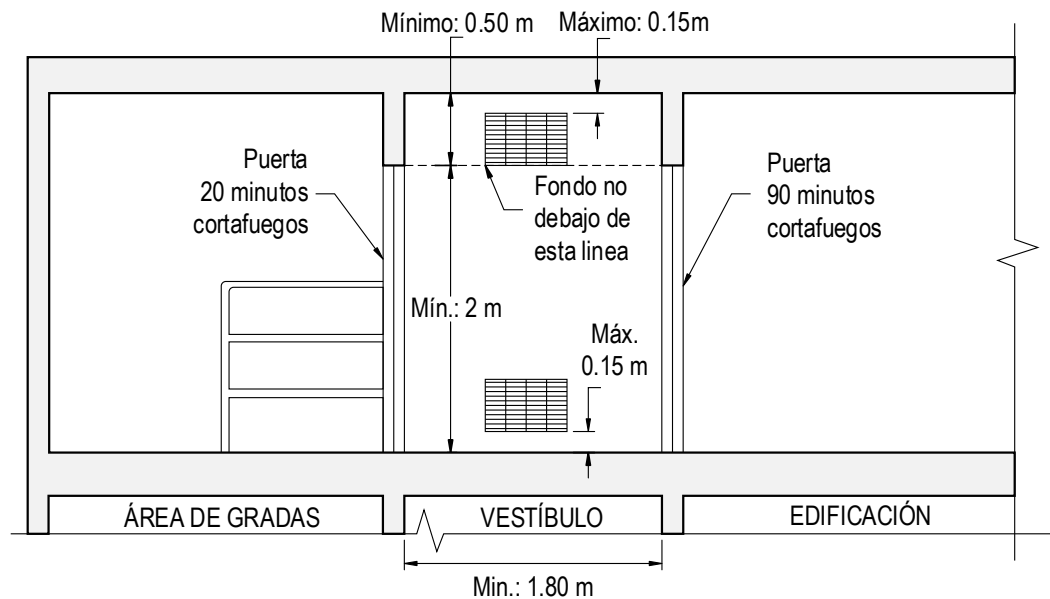


Figura 3: Distribución de las rejillas de inyección y extracción en vestíbulos.

Fuente: *Norma Técnica A.010* (p. 48), Reglamento Nacional de Edificaciones, 2014.

2.4. Desarrollo del Diseño del Sistema de Presurización de Escaleras

Para el diseño de sistemas de presurización en las escaleras de emergencia por presurización y/o por vestíbulos previos ventilados, se deberán analizar principalmente los niveles de diferencia presión que existen entre el interior de la caja de escaleras y la edificación, como la que hay también entre la caja de escaleras y el exterior de toda la edificación. Enseguida se deberá determinar el flujo volumétrico de aire (caudal), para lograr la presurización deseada, para ello se considera tres criterios: primero, cuando la caja de escaleras presenta todas las puertas cerradas, segundo, cuando presenta dos puertas abiertas y tercero, cuando se encuentra abierta la puerta que comunica el área presurizada directamente con el exterior del edificio. Después se procederá a dimensionar los ductos metálicos capaces de transportar las grandes cantidades de aire calculadas. Finalmente se deberá seleccionar los equipos inyectoros de aire con los parámetros obtenidos de los cálculos realizados.

Para el caso de presurización con vestíbulos previos ventilados, el sistema cuenta con un inyector general de aire que suministra aire fresco a los vestíbulos de todos los



niveles, de forma análoga, un extractor centrifugo tendrá la función de sacar el aire desde cada vestíbulo hacia el medio ambiente, con el fin de extraer el porcentaje de aire que exige el Reglamento Nacional de Edificaciones.

2.4.1. Temperatura de la Caja de Escaleras

La temperatura del suministro de aire hacia la caja de escaleras tiene un impacto en el rendimiento de las escaleras presurizadas. Generalmente, el suministro de aire para la presurización de escaleras no tiene ningún tipo de tratamiento, de modo que en su interior la temperatura es fría en invierno y caliente en verano.

2.4.2. Factor de Temperatura

Es el factor que relaciona la temperatura interna de la caja de escaleras con la temperatura del medio ambiente. En este caso, por las condiciones atmosféricas de la zona, la ecuación que se aplicará es:

$$FT = 2154 * \left(\frac{1}{Tr} - \frac{1}{Tp} \right) \quad (\text{Ec. 01})$$

Donde:

FT : Factor de Temperatura (Pa/m)

Tr : Temperatura absoluta exterior (°K)

Tp : Temperatura absoluta en la caja de escalera (°K)

2.4.3. Presurización

Se entiende por presurización, al suministro de grandes caudales de aire provenientes del medio ambiente, hacia la caja de escaleras de emergencia para lograr una presión positiva en su interior, utilizando para ello un inyector centrífugo de aire, evitando de este modo el ingreso del humo a las vías de evacuación.

Según Botta (2011), la presurización produce corrientes de aire a gran velocidad en los pequeños espacios que quedan alrededor de las puertas cerradas y en las grietas de las paredes, evitando así que penetre el humo en ellos. Los sistemas de presurización más



utilizados son los de cajas de escaleras. Además, menciona que, muchas cajas de escaleras presurizadas están proyectadas y construidas con el fin de lograr, en el caso de que se declare un incendio en el edificio, un entorno aceptable para que los ocupantes puedan escapar. Es evidente que una caja de escalera puede conseguir este objetivo, aunque penetre en ella cierta cantidad de humo.

2.4.4. Método de Ecuaciones de Diferencias de Presiones

Este método se aplica para edificaciones en condiciones ideales, sin embargo, sus resultados son bastante aceptables para realizar la selección y lograr una presurización exitosa. El método de las ecuaciones algebraicas se aplica en tres condiciones: primero, cuando todas las puertas interiores se encuentran cerradas, segundo, cuando algunas de las puertas interiores permanecen completamente abiertas y tercero, cuando la puerta que comunica la caja de escaleras con el exterior del edificio se encuentra abierta todo el tiempo.

Es conocido que, por el efecto chimenea, la presión mínima por las condiciones ambientales de la ciudad de Juliaca, siempre permanecerá en la parte baja de la escalera presurizada, por lo tanto, la columna de aire que la contiene, ejercerá una presión superior a medida que aumente la altura. Por tal motivo, a continuación, se presentan las ecuaciones en la base y el techo de la caja de escaleras, que servirán para hallar en flujo volumétrico que se necesita para presurizar la escalera.

2.4.4.1. Presión Diferencial Entre la Escalera y el Edificio en la Base de la Caja de Escaleras

La norma NFPA 92A, indica que en edificaciones que cuenten con rociadores contraincendios, deberá haber como mínimo 12.45 Pa, comprendida entre la caja de escaleras y el interior de la edificación.

Tabla 1: Mínima diferencia de presión entre la escalera y la edificación.

Tipo de Edificio	Altura de Techo	Mínima Diferencia de Presión
Con rociadores	Todos	12.45 Pa
Sin rociadores	2.74 m	24.91 Pa
Sin rociadores	4.57 m	34.87 Pa
Sin rociadores	6.40 m	44.84 Pa

Fuente: *Standard for Smoke Control Systems* (p. 08), National Fire Protection Association 92A, 2018.

2.4.4.2. Presión Diferencial Entre la Escalera y el Edificio en el Techo de la Caja de Escaleras

Es la diferencia de presión más alta que hay entre la caja de escaleras y el interior de la edificación, por acción de la altura, el factor de temperatura y la relación de áreas de flujo de aire.

$$DP_{pq2} = DP_{pq1} + \frac{h * FT * Sqr^2}{Spq^2 + Sqr^2} \quad (\text{Ec. 02})$$

Donde :

DP_{pq2} : presión diferencial en la parte superior de la escalera (Pa)

DP_{pq1} : presión diferencial en la parte inferior de la escalera (Pa)

h : altura total de la caja de escaleras (m)

FT : factor de temperatura (Pa/m)

Sqr : área de flujo entre el edificio y el exterior (m²)

Spq : área de flujo entre la escalera y el edificio (m²)

2.4.4.3. Presión Diferencial en la Base de la Escalera Respecto al Exterior

Comprende la diferencia de presión que deberá haber entre la caja de escaleras y el medio ambiente, con respecto a la parte inferior de la zona presurizada.

$$DP_{pr1} = \frac{(Sqr^2 + Spq^2) * DP_{pq1}}{Sqr^2} \quad (\text{Ec. 03})$$



Donde :

DPpr1 : presión diferencial en la parte inferior de la escalera respecto al exterior

(Pa)

Sqr : área de flujo entre el edificio y el exterior (m²)

Spq : área de flujo entre la escalera y el edificio (m²)

DPpq1 : presión diferencial en la parte inferior de la escalera (Pa)

2.4.4.4. Presión Diferencial en el Techo de la Escalera Respecto al Exterior

Comprende la diferencia de presión que deberá haber entre la caja de escaleras y el medio ambiente, con respecto a la parte superior de la zona presurizada.

$$DPpr2 = FT * h + \frac{(Sqr^2 + Spq^2) * DPpq1}{Sqr^2} \quad (\text{Ec. 04})$$

Donde :

DPpr2 : presión diferencial en la parte superior de la escalera respecto al exterior

(Pa)

FT : factor de temperatura (Pa/m)

h : altura total de la caja de escaleras (m)

Sqr : área de flujo entre el edificio y el exterior (m²)

Spq : área de flujo entre la escalera y el edificio (m²)

DPpq1 : presión diferencial en la parte inferior de la escalera (Pa)

2.4.5. Ecuaciones del Flujo Másico Del Aire

Para lograr presurizar la caja de escaleras de emergencia, se deberá introducir una gran cantidad de aire en su interior, para ello se establecen tres criterios:

- Flujo másico de aire cuando todas las puertas internas se encuentran cerradas.

$$FM1 = Ko1 * No1 * So1 * \sqrt{DPpq1 + DPpq2} \quad (\text{Ec. 05})$$

Donde :



FM1 : flujo másico de aire a puertas cerradas (Kg/s)

Ko1 : 0.571, factor de flujo de aire a puertas cerradas (Kg/Pa^{1/2}-m²-s)

No1 : número de puertas cerradas

So1 : área efectiva de fuga de aire a través de puertas cerradas (m²)

DPpq1 : presión diferencial en la parte inferior de la escalera (Pa)

DPpq2 : presión diferencial en la parte superior de la escalera (Pa)

➤ Flujo másico de aire con puertas internas abiertas.

$$FM2 = Ko2 * No2 * So2 * \sqrt{DPpq1 + DPpq2} \quad (\text{Ec. 06})$$

Donde :

FM2 : flujo másico de aire con puertas internas abiertas (Kg/s)

Ko2 : 0.571, factor de flujo de aire a puertas abiertas (Kg/Pa^{1/2}-m²-s)

No2 : Número de Puertas Abiertas

So2 : Área Efectiva de Fuga de Aire a Través de Puertas Abiertas (m²)

DPpq1 : Presión Diferencial en la Parte Inferior de la Escalera (Pa)

DPpq2 : Presión Diferencial en la Parte Superior de la Escalera (Pa)

➤ Flujo másico con la puerta exterior abierta.

$$FM3 = Ko3 * So3 * \sqrt{DPpr1} \quad (\text{Ec. 07})$$

Donde :

FM3 : flujo másico con puerta exterior abierta (Kg/s)

Ko3 : 0.807, factor de caudal con la puerta exterior abierta (Kg/Pa^{1/2}-m²-s)

So3 : área efectiva de fuga de aire a través de la puerta exterior abierta (m²)

DPpr1 : presión diferencial entre la escalera y el exterior en la planta baja (Pa)

2.4.6. Presión Máxima de Diseño con Todas las Puertas Cerradas

La ecuación de la máxima fuerza de apertura de la puerta es:

$$F = \frac{F_i + Wd * Sd * DP_{max}}{2 * \left(Wd - \frac{d}{1000}\right)} \quad (\text{Ec. 08})$$

Despejando DPmax, se obtiene:

$$DP_{max} = \frac{2 * (F - F_i) * \left(Wd - \frac{d}{1000}\right)}{Wd * Sd} \quad (\text{Ec. 09})$$

Donde :

DPmax: Presión Máxima de Diseño con todas las puertas cerradas (Pa)

F : 133.45 N, fuerza máxima de apertura de la puerta (N)

Fi : Fuerza de cierre de la puerta (N)

Sd : Área de la puerta (m²)

d : Distancia de la Perilla hacia el borde de cierre de la puerta (mm)

Wd : Ancho de la Puerta (m)

1000 : Factor de conversión de "mm" a "m"

Las máximas presiones de diseño a puertas cerradas, para diversas puertas con alturas de 2.13 m, se muestra a continuación:

Tabla 2: Máxima diferencia de presión a través de puertas.

Fuerza de cierre de la puerta (Fi)	Ancho de la Puerta (Wd)				
	0.81 m	0.91 m	1.02 m	1.12 m	1.22 m
26.69 N	112.09 Pa	99.64 Pa	92.16 Pa	84.69 Pa	77.22 Pa
35.59 N	102.13 Pa	92.16 Pa	84.69 Pa	77.22 Pa	69.74 Pa
44.48 N	92.16 Pa	84.69 Pa	74.73 Pa	69.74 Pa	64.76 Pa
53.38 N	84.69 Pa	74.73 Pa	67.25 Pa	62.27 Pa	57.29 Pa
62.28 N	74.73 Pa	67.25 Pa	59.78 Pa	54.80 Pa	52.31 Pa

Fuente: *Standard for Smoke Control Systems* (p. 28), National Fire Protection Association, 2018.

2.4.7. Altura Límite de Diseño

$$H_{max} = \frac{K_h * (DP_{max} - DP_{min}) * (S_{qr}^2 + S_{pq}^2)}{\left| \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T_p} \right| * S_{qr}^2} \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde :

H_{max} : altura límite de diseño (m)

K_h : factor de altura en S.I. ($4.642 * 10^{-4}$ m/Pa-°K).

DP_{max} : máxima presión de diseño con todas las puertas cerradas (Pa)

DP_{min} : mínima diferencia de presión entre la escalera y el edificio (Pa)

S_{qr} : área de flujo entre el edificio y el exterior (m²)

S_{pq} : área de flujo entre la escalera y el edificio (m²)

T_r : temperatura del medio ambiente (°K)

T_p : temperatura al interior de la escalera (°K)

2.5. Diseño del Sistema de Conductos

Se refiere a la construcción de los conductos de fierro galvanizado de forma rectangular, por donde recorrerá el aire, desde el inyector de aire hacia las rejillas de descarga, para conseguir la presurización requerida.

2.5.1. Descripción General del Diseño del Sistema de Ductos

El diseño del sistema de conductos de aire debe considerar: disponibilidad de espacio, velocidad de aire en el conducto, ruido y costo operativo del sistema.

2.5.2. Factores Económicos que Influyen en el Sistema de Conductos

Los factores que influyen en el precio de compra y gastos de construcción son:

- a) **Relación Entre Dimensiones del Conducto:** Llamaremos relación de forma a la correspondencia entre las dimensiones mayor y menor de la sección de un conducto rectangular. Esta relación es un factor importante a tener en cuenta en el desarrollo inicial ya que, aumentando esta relación, aumenta el coste de la



instalación por la cantidad de material adicional que se emplea en el proceso de fabricación de los conductos metálicos.

- b) **El Coste de Explotación:** Al presentarse una gran pérdida de carga, la presión que debe suministrar el ventilador también será mayor y aumentará el consumo eléctrico del motor. Esto se dará cuando los conductos presentan dimensiones muy reducidas o por la aplicación de excesivos accesorios de uniones, derivaciones, reducciones, etc.

Por lo tanto, se recomienda que la relación entre el alto y el ancho del conducto rectangular se aproxime a la unidad, con el fin de reducir las pérdidas de presión a los mínimos valores posibles. Además, todos los tramos principales y secundarios de la red de conductos deben procurar recorrer trayectorias rectas, con la finalidad de evitar el uso innecesario accesorios de derivación o reducción.

2.5.3. Espacio Disponible y Aspecto Decorativo

El espacio disponible para los conductos de impulsión o extracción de aire, como el aspecto decorativo, presentan con frecuencia limitaciones que obligan a adoptar un determinado sistema en los conductos. En instalaciones donde el espacio es limitado, la solución más práctica será la de un sistema de alta velocidad.

En estos casos lo más adecuado son los conductos rectangulares de líneas aerodinámicas. Este tipo de conductos se construyen de forma que presente exteriormente un aspecto uniforme, mientras las uniones de los conductos se realizan por el interior del mismo. El conducto se construye con un mínimo de reducciones en su sección para evitar grandes caídas de presión (Carrier Air Conditioning Co., 2009).

2.5.4. Construcción de Conductos

La misión de un sistema de conductos es conducir el aire desde el inyector centrífugo de aire hasta el espacio que va a ser presurizado.



Para cumplir con este objetivo, el sistema debe proyectarse dentro de ciertas limitaciones establecidas, de antemano relativas al espacio disponible, pérdidas por rozamiento, velocidad y nivel de ruido.

2.5.5. Tipos de Conductos Según su Forma

Los conductos se clasifican según su sección transversal en los siguientes tipos: sección circular, sección rectangular y sección oval.

Conductos Circulares y Ovals: los diámetros nominales interiores se eligen con base 100 mm, la cual, generalmente, tiene una relación de incremento diametral de 50 mm.

Conductos Rectangulares: las dimensiones nominales de los conductos rectangulares normalizados, están entre el rango de 200 mm a 2000 mm.

En el presente estudio, todas las construcciones de redes de distribución de aire se realizan con conductos rectangulares, Pero para realizar los cálculos de dimensionamiento de pérdidas primarias, se utiliza su diámetro circular equivalente que conduciendo el mismo caudal y teniendo el mismo coeficiente de fricción, ocasionará la misma pérdida de presión por unidad de longitud. Viene dado por la expresión:

$$De = 1.30 * \frac{(W * H)^{0.625}}{(W + H)^{0.25}} \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde :

De : Diámetro equivalente (mm).

W : Ancho del conducto rectangular (mm).

H : Alto del conducto rectangular (mm).

En las tablas 03 y 04, se ofrecen un listado de los diámetros equivalentes del conducto circular para dimensiones del conducto rectangular con una relación de forma: largo/ancho.



Tabla 3: Diámetros circulares equivalentes de conductos rectangulares (parte 1).

H/W	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900	1000
100	109																
150	133	164															
200	152	189	219														
250	169	210	244	273													
300	183	229	266	299	328												
350	195	245	286	322	354	383											
400	207	260	305	343	378	409	437										
450	217	274	321	363	400	433	464	492									
500	227	287	337	381	420	455	488	518	547								
550	236	299	352	398	439	477	511	543	573	601							
600	245	310	365	414	457	496	533	567	598	628	656						
650	253	321	378	429	474	515	553	589	622	653	683	711					
700	261	331	391	443	490	533	573	610	644	677	708	737	765				
750	268	341	402	457	506	550	592	630	666	700	732	763	792	820			
800	275	350	414	470	520	567	609	649	687	722	755	787	818	847	875		
900		367	435	494	548	597	643	686	726	763	799	833	866	897	927	984	
1000		384	454	517	574	626	674	719	762	802	840	876	911	944	976	1037	1093

Fuente: Manual de Aire Acondicionado (p. 37), Carrier Air Conditioning Co, 2009.

Nota: En esta tabla de diámetros equivalentes las dimensiones están expresadas en mm y se han obtenido utilizando la ecuación 11 del presente trabajo.

Tabla 4: Diámetros circulares equivalentes de conductos rectangulares (parte 2).

H/W	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600
1100	1202															
1200	1256	1312														
1300	1306	1365	1421													
1400	1354	1416	1475	1530												
1500	1400	1464	1526	1584	1640											
1600	1444	1511	1574	1635	1693	1749										
1700	1486	1555	1621	1684	1745	1803	1858									
1800	1527	1598	1667	1732	1794	1854	1912	1968								
1900	1566	1640	1710	1778	1842	1904	1964	2021	2077							
2000	1604	1680	1753	1822	1889	1952	2014	2073	2131	2186						
2100	1640	1719	1793	1865	1933	1999	2063	2124	2183	2240	2296					
2200	1676	1756	1833	1906	1977	2044	2110	2173	2233	2292	2350	2405				
2300	1710	1793	1871	1947	2019	2088	2155	2220	2283	2343	2402	2459	2514			
2400	1744	1828	1909	1986	2060	2131	2200	2266	2330	2393	2453	2511	2568	2624		
2500	1776	1862	1945	2024	2100	2173	2243	2311	2377	2441	2502	2562	2621	2678	2733	
2600	1808	1896	1980	2061	2139	2213	2285	2355	2422	2487	2551	2612	2672	2730	2787	2840

Fuente: Manual de Aire Acondicionado (p. 38), Carrier Air Conditioning Co, 2009.

Nota: En esta tabla de diámetros equivalentes las dimensiones están expresadas en mm y se han obtenido utilizando la ecuación 11 del presente trabajo.

2.5.6. Pérdidas Primarias

En todos los conductos por los que circula aire, existe una continua pérdida de presión. Esta pérdida de presión se llama también pérdida de carga por rozamiento y, para conductos circulares, viene dada por la ecuación de Darcy - Colebrook:

2.5.6.1. Ecuación de Darcy - Colebrook

$$\Delta Pf = \left(\frac{\Delta Pf}{L} \right) * L \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde :

ΔPf : Caída de presión por fricción (pa)

$\Delta Pf/L$: Caída de presión por fricción por tramo de longitud (Pa/m)

L : Longitud de tramo de conducto (m)

2.5.6.2. Pérdida Por Longitud Total

$$\frac{\Delta Pf}{L} = \frac{1000 * f * PV}{De} \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde :

f : Factor de rozamiento (adimensional)

PV : Presión de Velocidad (Pa)

De : Diámetro equivalente (mm)

2.5.6.3. Factor de Rozamiento

Cuando el flujo del aire es laminar, se debe aplicar la expresión:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (\text{Ec. 14})$$

Cuando el flujo del aire es transicional y turbulento, se debe aplicar la expresión:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10} * \left(\frac{\varepsilon}{3.7 * De} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right) \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde :

f : Factor de rozamiento (adimensional)



ε : Rugosidad absoluta del material (mm), ver tabla 05

Re : Número de Reynolds (adimensional)

Tabla 5: Rugosidades absolutas de los materiales.

CONDUCTO	ε (mm)
Planchas de aluminio (33 uniones / 30 m)	0.046
Planchas de acero galvanizado	0.152
Revestimiento de conducto con fibra de vidrio	0.900
Conducto flexible (cubierto con tela)	3.000

Fuente: ASHRAE Fundamentals.

2.5.6.4. Número de Reynolds

$$Re = \frac{De * V}{1000 * \nu} \quad (\text{Ec. 16})$$

Donde :

Re : Número de Reynolds (adimensional)

De : Diámetro equivalente (mm)

V : Velocidad del aire en el ducto (m/s)

ν : Viscosidad cinemática (m²/s)

2.5.6.5. Estado de Flujo

Laminar : $Re < 2000$

Transicional : $2000 \leq Re < 4000$

Turbulento : $Re \geq 4000$

2.5.6.6. Presión de Velocidad

Se refiere a la presión producida por la velocidad ejercida en el ducto de rectangular.

$$PV = \frac{\rho * V^2}{2} \quad (\text{Ec. 17})$$

Donde :



PV : Presión de Velocidad (Pa)

ρ : Densidad del Aire (Kg/m^3)

V : Velocidad en el conducto (m/s)

2.5.6.7. Velocidad del Aire

La velocidad del aire dentro de los conductos de ventilación es uno de los parámetros más importantes a considerar, ya que si las dimensiones se diseñan a excesiva velocidad podrían ocasionar problemas relacionados al sonido y la vibración por el paso del aire por tramos contruidos. Otro gran problema que se podría presentar es la necesidad de seleccionar un equipo ventilador de gran capacidad para poder vencer las grandes caídas de presión que se producirían por la estrechez de los conductos, por lo tanto, demandaría un motor eléctrico de mayor capacidad, que transforme energía eléctrica en mecánica, eso sería perjudicial al momento de la compra de los equipos de suministro o extracción de aire, ya que el costo sería más alto, también subiría la tarifa del consumo de energía eléctrica. Todo esto ocurriría por el afán de ahorrar cierta cantidad de material para la construcción de los conductos de aire, lo cual no es conveniente.

Carrier Air Conditioning Co. (2009) afirma que, para establecer la velocidad del sistema de distribución de aire, hay que atender a las limitaciones respecto al ruido, precio de compra y gastos de explotación.

La tabla 06, proporciona las velocidades recomendadas para conductos de impulsión y de retorno en un sistema de baja velocidad. Estas velocidades se han deducido de la experiencia.

Por encima de las velocidades mostradas en la Tabla 06, se plantean problemas de ruidos, y los gastos de explotación, como consecuencia de las pérdidas de carga, pueden resultar excesivos. La selección de la velocidad es por lo tanto un problema de economía. Una velocidad muy alta requiere conductos más pequeños, y por lo tanto

menor coste, pero en cambio los gastos de explotación serán mayores y posiblemente hará falta un ventilador mayor con un motor más potente. Si se emplea una velocidad menor, los conductos serán mayores, pero los gastos de explotación son inferiores.

Para el cálculo de conductos, suelen seguirse las siguientes reglas:

- a) Transporte de aire para locales comerciales: baja velocidad, normalmente entre 8 y 10 m/s.
- b) Transporte de aire para locales industriales: baja velocidad, normalmente entre 10 y 12 m/s.

Tabla 6: Máxima velocidad recomendada de conductos para sistemas convencionales.

DESIGNACIÓN	VELOCIDADES MAXIMAS (m/s)		
	RESIDENCIAS	COLEGIOS, TEATROS, EDIFICACIONES PUBLICAS	EDIFICACIONES INDUSTRIALES
Tomas de aire exterior.	4.10	4.60	6.10
Filtros	1.50	1.80	1.80
Serpentines de calefacción	2.50	3.10	3.60
Serpentines de enfriamiento	2.30	2.50	3.10
Lavadores de aire	2.50	2.50	2.50
Salidas de ventiladores	8.60	7.60 – 11.20	8.60 – 14.20
Ductos Principales	4.10 – 6.10	5.60 – 8.10	6.60 – 11.20
Ductos secundarios	3.60 – 5.10	4.10 – 6.60	5.10 – 9.10
Montantes	3.30 – 4.10	4.10 – 6.10	5.10 - 8.10

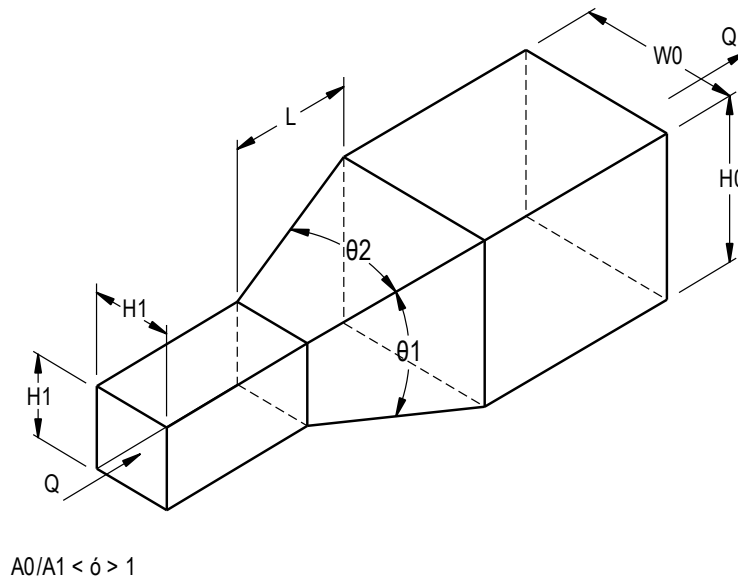
Fuente: *HVAC and Chemical Resistance Handbook for the Engineer and Architect*

(p. 532), Arimes, T., 1994.

2.5.7. Pérdidas Secundarias

En el tendido de un sistema de conductos han de tenerse en cuenta una serie de accesorios, que permitan realizar los cambios de dirección, transformaciones, derivaciones, divisiones, etc. Estos pueden ser: las transiciones, los codos, las TEE, las uniones y los dámperes de control del aire, entre otros. A continuación, se procede a detallar los accesorios utilizados para el desarrollo del presente estudio.

Transiciones: se emplean para unir dos conductos de diferentes dimensiones, en este caso, se utilizaron transiciones piramidales que reducen la sección del conducto con respecto al eje común del trayecto del aire. Para ello se toma en cuenta el ángulo de ensanchamiento del ducto de ingreso, ya que es conveniente que el ángulo no sea tan abierto, pues generaría mucha caída de presión en el tramo. En la figura 04, se aprecia su construcción y la tabla de coeficientes de pérdida de presión.



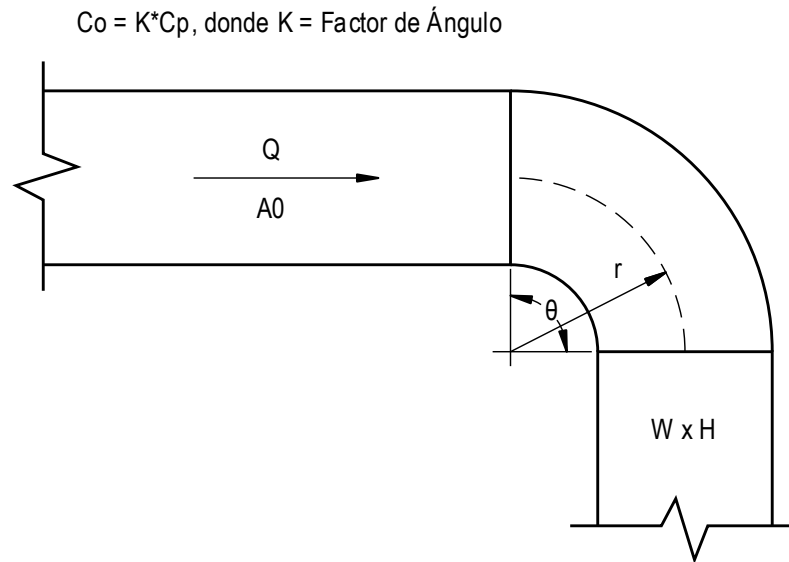
		Co									
Theta →	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	
Ao/A1											
0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43	
0.17	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07	0.19	0.28	0.37	0.42	
0.25	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41	
0.50	0.06	0.07	0.06	0.05	0.06	0.07	0.13	0.19	0.23	0.24	
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
2.00	0.61	0.87	1.00	1.20	1.30	1.30	1.30	1.28	1.24	1.20	
4.00	3.92	5.72	7.20	8.32	9.28	9.92	10.24	10.24	10.24	10.24	
6.00	10.62	15.84	18.90	22.50	25.74	27.90	28.44	28.44	28.35	28.26	
10.00	30.0	45.0	53.0	63.5	75.0	84.0	89.0	89.0	88.5	88.0	
16.00	77.6	116.7	136.5	164.1	196.9	224.3	241.9	241.9	240.4	238.6	

Figura 4: Transición rectangular piramidal (SR4-2).

Fuente: *Duct Fitting Database*, ASHRAE, 2002.

Codos: Son accesorios que se utilizan para modificar la dirección del flujo de aire.

En el presente trabajo, se emplearon codos de 90° y 45° para derivar el conducto troncal, ubicado en el techo de la caja de escaleras, hasta las rejillas de descarga que se encuentran en el interior del ambiente presurizado.

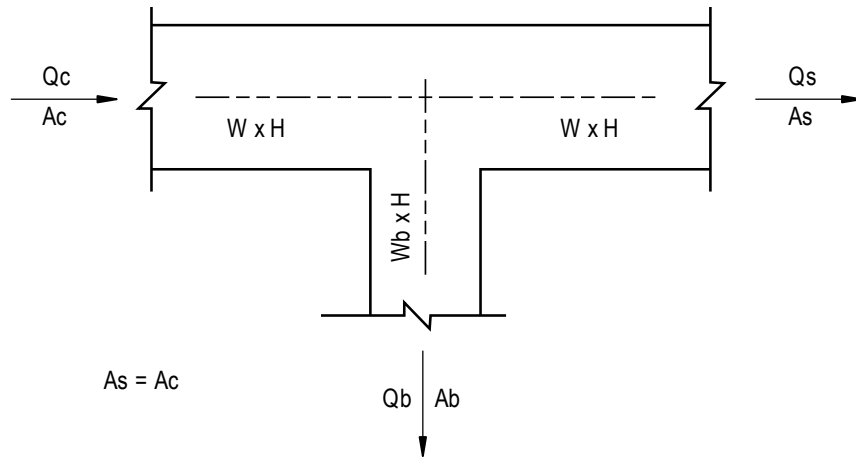


		C_p										
$H/W \rightarrow$		0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	8.00
r/W												
	0.50	1.53	1.38	1.29	1.18	1.06	1.00	1.00	1.06	1.12	1.16	1.18
	0.75	0.57	0.52	0.48	0.44	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44
	1.00	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21
	1.50	0.22	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17
	2.00	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15
$\theta \rightarrow$												
	0.00	0.00	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1.00	1.13	1.20	1.28	1.40
	20.0											
	30.0											
	45.0											
	60.0											
	75.0											
	90.0											
	110.0											
	130.0											
	150.0											
	180.0											
	K	0.00	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1.00	1.13	1.20	1.28	1.40

Figura 5: Codo rectangular sin vanos (CR3-1).

Fuente: ASHRAE Handbook - Fundamentals (p. 52), ASHRAE, 2009.

TEE de Derivación Lateral: Este tipo de accesorio se utiliza para distribuir aire desde un conducto troncal hacia un ramal, la cual, se conecta directamente a las rejillas de descarga de aire, permitiendo pasar el aire restante por la troncal agua abajo.



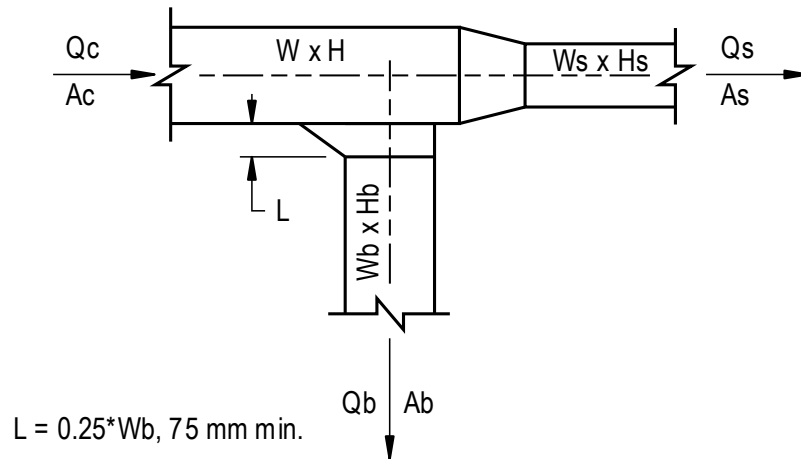
		Cb									
Qb/Qc →	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	
Ab/Ac											
0.10	2.06	1.20	0.99	0.87	0.88	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	
0.20	5.15	1.92	1.29	1.03	0.99	0.94	0.92	0.90	0.89	0.88	
0.30	10.30	3.12	1.78	1.28	1.16	1.06	1.01	0.97	0.94	0.93	
0.40	15.90	4.35	2.24	1.48	1.11	0.88	0.80	0.75	0.72	0.70	
0.50	24.31	6.31	3.04	1.90	1.35	1.03	0.91	0.83	0.78	0.75	
0.60	34.60	8.70	4.03	2.41	1.65	1.22	1.04	0.94	0.87	0.82	
0.70	46.75	11.53	5.19	3.01	2.00	1.44	1.20	1.06	0.96	0.89	
0.80	60.78	14.79	6.53	3.70	2.40	1.69	1.38	1.20	1.07	0.98	
0.90	76.67	18.49	8.05	4.49	2.86	1.98	1.59	1.36	1.20	1.09	
1.00	94.44	22.62	9.75	5.37	3.38	2.30	1.82	1.54	1.34	1.20	

Qs/Qc →	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
Cs	32.40	6.40	2.18	0.90	0.40	0.18	0.07	0.03	0.00	0.00

Figura 6: TEE de derivación lateral (SR5-5)

Fuente: ASHRAE Handbook - Fundamentals (p. 52), ASHRAE, 2009.

TEE Angular de Entrada a Ramal: Se utiliza para la derivación de cierto caudal de aire hacia un ramal desde un conducto troncal, además, presenta una sección angular, para reducir las pérdidas de presión en este accesorio (Ver figura 07).



		Cb									
		0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
Qb/Qc →	Ab/Ac										
0.10	0.10	0.32	0.33	0.32	0.34	0.32	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41
0.20	0.20	0.31	0.32	0.41	0.34	0.32	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36
0.30	0.30	1.86	1.65	0.73	0.47	0.37	0.34	0.32	0.32	0.32	0.32
0.40	0.40	3.56	3.10	1.28	0.73	0.51	0.41	0.36	0.34	0.32	0.32
0.50	0.50	5.74	4.93	2.07	1.12	0.73	0.54	0.44	0.38	0.35	0.35
0.60	0.60	8.48	7.24	3.10	1.65	1.03	0.73	0.56	0.47	0.41	0.38
0.70	0.70	11.75	10.00	4.32	3.31	1.42	0.98	0.73	0.58	0.49	0.46
0.80	0.80	15.57	13.22	5.74	3.10	1.90	1.28	0.94	0.73	0.60	0.59
0.90	0.90	19.92	16.90	7.38	4.02	2.46	1.65	1.19	0.91	0.73	0.71

		Cs									
		0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
Qs/Qc →	As/Ac										
0.10	0.10	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.20	0.20	0.98	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.30	0.30	3.48	0.31	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.40	0.40	7.55	0.98	0.18	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	0.50	13.18	2.03	0.49	0.13	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
0.60	0.60	20.38	3.48	0.98	0.31	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
0.70	0.70	29.15	5.32	1.64	0.60	0.23	0.09	0.04	0.02	0.01	0.00
0.80	0.80	39.48	7.55	2.47	0.98	0.42	0.18	0.08	0.04	0.02	0.01
0.90	0.90	51.37	10.17	3.48	1.46	0.67	0.31	0.15	0.07	0.04	0.02

Figura 7: TEE divisor de flujo de aire (SR5-13).

Fuente: ASHRAE Handbook - Fundamentals (p. 64), ASHRAE, 2009.

Dámper Cortafuego: Son compuertas mecánicas que permiten ajustar el caudal de aire que sale por las rejillas de descarga. Además, adicionalmente tiene una función cortafuego, que, al detectar presencia de humo o elevación de temperatura, bloquea completamente el paso del aire a través de la rejilla.

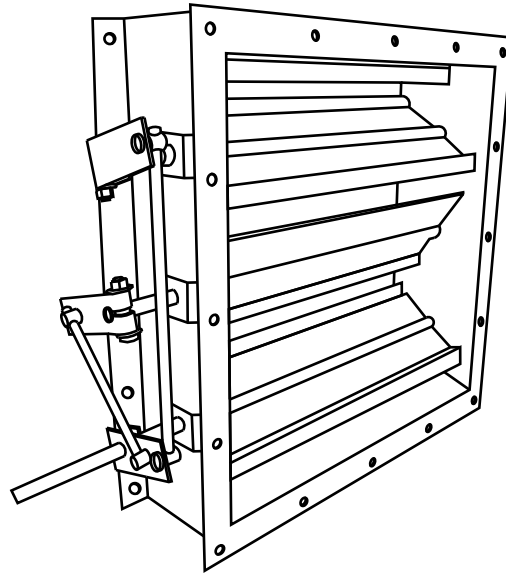


Figura 8: Persiana reguladora contraincendios.

Fuente: *Manual de Aire Acondicionado* (p. 28), Carrier Air Conditioning Co, 2009.

2.5.8. Ventiladores

Es la parte más importante de todo el sistema de presurización de escaleras. Su correcta selección permitirá conseguir los niveles de presión que se necesitan para conseguir como mínimo los 12.45 Pa en una escalera sin vestíbulos ventilados. Cuando la escalera tenga vestíbulos previos ventilados requerirá como mínimo 24.91 Pa, con todas las puertas cerradas, trabajo que tendrá que asumir en ventilador centrífugo al inyectar un caudal de aire al interior de la caja de escaleras, según los cálculos obtenidos.

Según (Echeverri Londoño, 2011), Para mover el aire a través de un sistema de ventilación exhaustiva es necesario suministrar energía para vencer las pérdidas de presión del sistema. En la gran mayoría de los casos el suministro de energía proviene de máquinas denominadas ventiladores.



Su funcionamiento se basa en el suministro de energía mecánica al aire a través de un rotor que gira a alta velocidad y que incrementa la energía cinética del aire, que luego se transforma parcialmente en presión estática. Los ventiladores se dividen en dos grandes grupos: los ventiladores axiales y los ventiladores centrífugos.

Es imposible dar recomendación alguna sobre el “mejor ventilador”. Antes de elegir un determinado tipo deben considerarse los requisitos particulares de aplicación para cada caso. El criterio de selección básico para cada ventilador se fundamenta no sólo en sus características acústicas sino en su capacidad para poner en movimiento la cantidad de aire precisa a la presión adecuada. Una vez especificados estos requisitos se deben establecer las características de tipo, tamaño y velocidad del ventilador. Finalmente se deben concretar sus características acústicas.

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, solamente se utilizaron ventiladores de tipo centrífugo, pues estas son conocidas por vencer niveles de presión altas, que es lo que se necesita para conseguir la presurización requerida. En cambio, los ventiladores axiales, son utilizados para trasladar grandes flujos de aire desde un ambiente hacia otro que es adyacente a él, por lo tanto, no se aplica ningún ventilador de tipo axial en esta tesis.

2.5.8.1. Ventiladores Axiales

Según Soler&Palau (2012), en estas máquinas, el aire entra y sale de la hélice con trayectorias a lo largo de superficies cilíndricas coaxiales al ventilador.

2.5.8.2. Ventiladores Centrífugos

Este nombre se refiere a la forma en la cual comunica el ventilador la energía a la corriente de aire. El aire entra en el ventilador a través de una abertura concéntrica con el eje de una pieza que gira a gran velocidad, llamado rotor. El rotor está provisto de álabes adheridos al mismo. El aire circula entre los álabes hacia el exterior a causa de la fuerza

centrífuga y abandona el rotor con una velocidad mayor que en la entrada. El aire de salida se recoge en una carcasa en espiral llamada voluta y sale del ventilador a través de una conducción tangencial a la voluta (Echeverri Londoño, 2011).

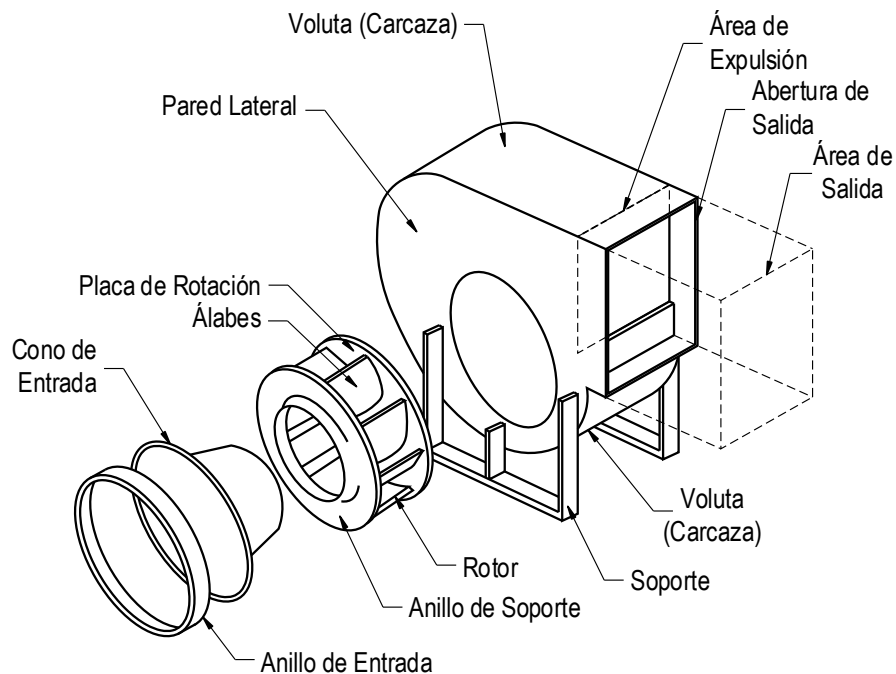


Figura 9: Ventilador centrífugo.

Fuente: *Ventilación Industrial* (p. 132), Echeverri Londoño, C. A., 2011.

Toda la energía recibida por el aire procede del rotor que, a su vez, la recibe mediante el par de un eje giratorio arrastrado por un motor. En un ventilador centrífugo las condiciones de entrada y salida forman un ángulo de 90° sin importar el sentido de giro del rotor. En general, el rendimiento mecánico de un ventilador centrífugo no es muy elevado, oscila entre 45 y 84%, debido a que el cambio de dirección del aire provoca pérdidas por choques y remolinos; no obstante, manejan cualquier cantidad de aire contra altas presiones.

El diseño de las aletas determina en general la característica de la velocidad de giro; por ejemplo, las aletas hacia delante son apropiadas para baja velocidad y las aletas hacia atrás para alta velocidad. La presión generada por un ventilador es función del

movimiento o velocidad frontal del aire en la punta de la aleta (ver figura 10).

El ventilador de aletas curvas hacia atrás consume menos potencia y se utilizan comúnmente para mover gases, vapores, neblinas y rocío. Los ventiladores de aleta radial se utilizan para mover material de diferente densidad (ver figura 10).

Los ventiladores centrífugos con diseño de álabes inclinados hacia atrás son de tres tipos principales, como muestran las figuras 10 y 11. Estos ventiladores son los de mayor eficacia de todos los ventiladores centrífugos, y producen los menores niveles de ruido. Se emplean para sistemas generales de calefacción, ventilación y aire acondicionado con exigencias de presión bajas, medias y altas.

También se emplean en el control de la contaminación del aire en la industria. El ventilador aerodinámico debe ser utilizado solamente en instalaciones en las que el aire es bastante limpio, ya que sus álabes no deberían sufrir erosión ni corrosión. Los álabes de grosor uniforme deben ser usados para instalaciones en las que el aire puede contener pequeñas cantidades de suciedad y material erosivo o corrosivo. Existen otros tipos de diseños de ventilador para casos en los que se prevén condiciones especialmente difíciles (Echeverri Londoño, 2011).

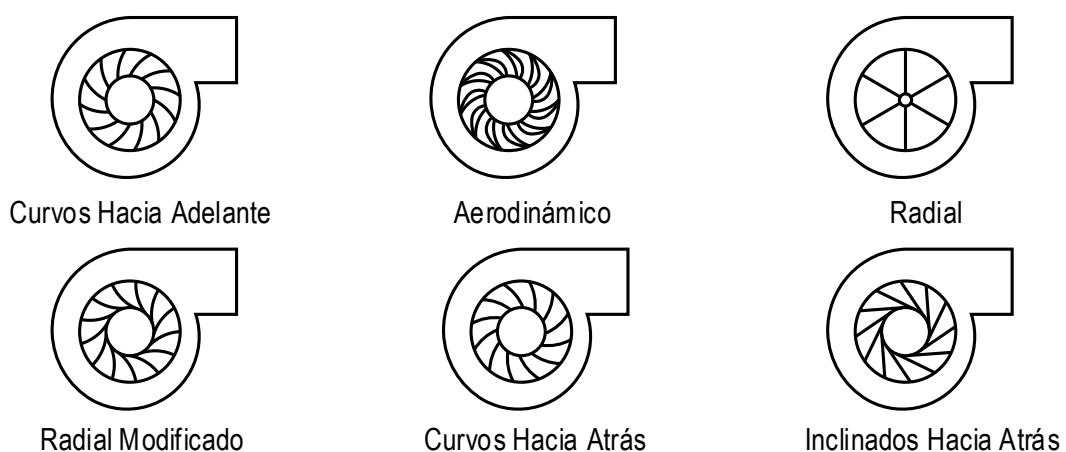


Figura 10: Tipos de rotores.

Fuente: *Ventilación Industrial* (p. 133), Echeverri Londoño, C. A., 2011.

Los ventiladores radiales modificados han sido creados para usos industriales bajo

condiciones de alta presión (ver figura 10). El diámetro interior del filo del álabe posee un leve ángulo de inclinación en el sentido de la marcha. El diámetro exterior del aspa es radial. El funcionamiento de la hélice adquiere, por tanto, peculiaridades de alta presión que permiten su empleo para instalaciones en servicios industriales pesados, tales como calderas y procesos industriales. Este diseño es empleado bajo condiciones de alta posibilidad de erosión y corrosión. En estos casos puede ser reforzado con una elaboración más sólida de lo habitual o con materiales especiales preparados para soportar estas condiciones. Tales ventiladores poseen entre 12 y 18 álabes (Echeverri Londoño, 2011).

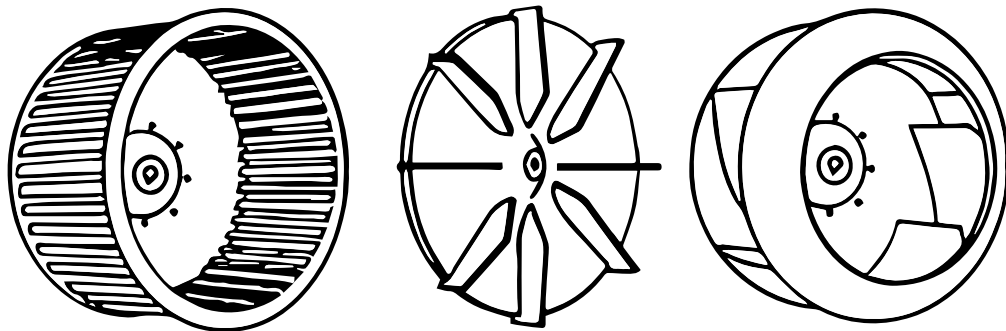


Figura 11: Álabes curvos hacia adelante, radiales y curvos hacia atrás.

Fuente: *Ventilación Industrial* (p. 134), Echeverri Londoño, C. A., 2011.

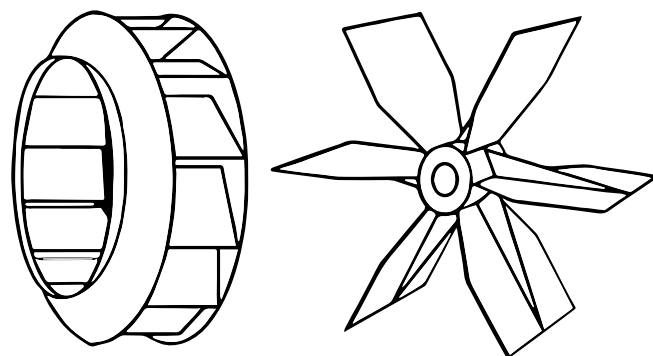


Figura 12: Álabes inclinados hacia atrás y radiales.

Fuente: *Ventilación Industrial* (p. 134), Echeverri Londoño, C. A., 2011.

2.5.8.3. Selección de Ventiladores

La selección de un ventilador consiste en elegir aquel que satisfaga los requisitos

de caudal y presión con que debe circular el aire, para la temperatura de operación y la altitud de la instalación. Además, se debe determinar su tamaño, el número de revoluciones a las que debe girar el rotor, la potencia que debe ser entregada a su eje, el rendimiento con el que funciona, la disposición de la transmisión, el ruido generado, etc. Los fabricantes de los ventiladores proporcionan la información necesaria para realizar una correcta selección. Todos los ventiladores que entre sí poseen medidas proporcionales, o sea que son semejantes, pertenecen a una misma “serie”. Los ventiladores están determinados por el caudal y la presión. Como resultado final del cálculo de un sistema de ventilación, se obtiene el caudal total de manejo que circula por el mismo y la presión requerida por el sistema (Echeverri Londoño, 2011).

En todo momento, se debe cumplir que:

$$P_t = P_e + P_d \quad (\text{Ec. 18})$$

Donde:

P_t : Presión total (Pa).

P_e : Presión estática (Pa).

P_d : Presión dinámica (Pa).

El conocimiento de las curvas características del sistema de ventilación y del ventilador ayuda a visualizar cómo se selecciona un ventilador. La curva característica del sistema de ventilación es la representación gráfica de la presión requerida en función del caudal que circula por dicho sistema.

La figura 13 presenta las curvas características del sistema de ventilación y el ventilador. Para desarrollar la curva del sistema de ventilación, el ventilador se hace girar a diferentes velocidades y se grafica el caudal y los valores absolutos de la presión. A medida que se aumenta la velocidad del ventilador, aumentan el caudal y la presión estática (Echeverri Londoño, 2011).

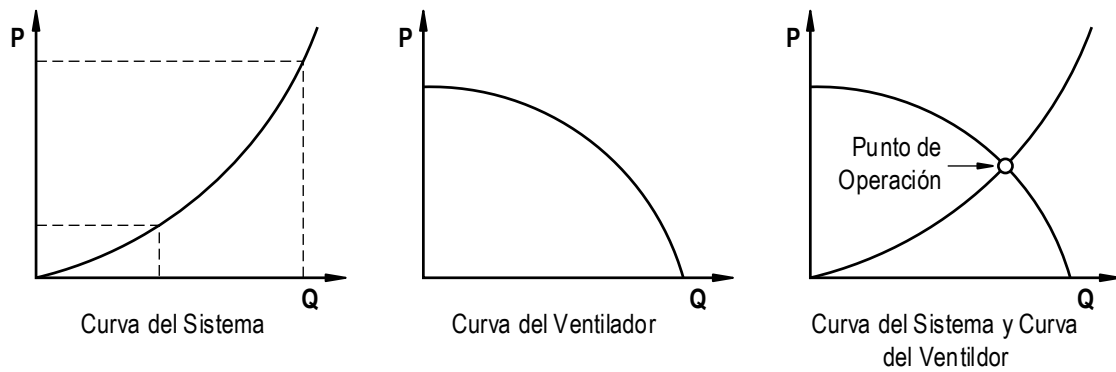


Figura 13: Curvas características del sistema de ventilación y el ventilador.

Fuente: *Ventilación Industrial* (p. 137), Echeverri Londoño, C. A., 2011.

Para la curva de un ventilador, se instala un ducto de corta longitud a la entrada del ventilador. En el extremo del ducto se coloca una válvula de mariposa y con un manómetro se mide la presión estática. El ventilador se hace girar a una velocidad determinada y la válvula se cierra completamente para que no fluya el aire. La válvula de mariposa se abre lentamente y cada vez se deja pasar más aire a través del ducto, hasta que se abre completamente, dando como resultado el caudal máximo en ausencia de pérdidas de presión estática. Se puede obtener una familia de curvas para cualquier ventilador girando el ventilador a diferentes velocidades. De las distintas curvas posibles del ventilador, solo una intercepta a la curva característica del sistema de ventilación en el punto de operación (ver figura 13). Por lo tanto, el ventilador solo puede funcionar a una determinada velocidad, de modo que la curva pase por el punto de operación requerido por el sistema de ventilación. Para otros ventiladores, las curvas pasarán por el mismo punto de operación, cuando los rotores giren a una velocidad diferente. En el diseño del sistema de ventilación se especifica siempre el caudal y la presión estática, es decir, se escoge por adelantado el punto de operación.

Se debe escoger el ventilador que tenga una velocidad de rotación que caiga en el punto de operación del sistema de ventilación, para que proporcione el caudal y la presión estática necesarios.

Algunos fabricantes dan a conocer el funcionamiento de los ventiladores mediante sus curvas características. También los fabricantes suelen presentar la información referida a los ventiladores, mediante una serie de tablas en las que se indican el tamaño de éstos, el caudal y la presión requerida por el sistema, y a partir de estos datos se obtienen la velocidad de rotación y la potencia consumida (Echeverri Londoño, 2011).

2.5.8.4. Leyes de los Ventiladores

Según Soler&Palau (2012), 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. Nosotros aplicamos estas leyes en el caso de la variación de velocidad de giro del ventilador:

El caudal es proporcional a la relación de velocidades:

$$Q_2 = Q_1 * \left[\frac{n_2}{n_1} \right] \quad (\text{Ec.19})$$

Donde :

Q_1, Q_2 : Caudal de aire (l/s)

n_1, n_2 : Velocidad de rotación (rpm)

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

$$P_2 = P_1 * \left[\frac{n_2}{n_1} \right]^2 \quad (\text{Ec.20})$$

Donde :

P_1, P_2 : Presión de trabajo (Pa)

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

$$N_2 = N_1 * \left[\frac{n_2}{n_1} \right]^3 \quad (\text{Ec.21})$$

Donde :

N_1, N_2 : Potencia absorbida (hp)



Mediante las relaciones anteriores podemos conocer los valores que toman las diferentes variables para diferentes regímenes de giro del ventilador variando la velocidad de este 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 solo se puede realizar disminuyendo la velocidad de giro del ventilador (Soler&Palau, 2012).

2.5.9. Control de Flujo de los Ventiladores

Siendo uno de los aspectos más relevantes con respecto a ahorro energético que demandan los ventiladores con respecto al manejo de caudales de aire en el momento oportuno, vale decir que, en todo momento, el sistema debe suministrar el caudal necesario para presurizar la escalera con todas las puertas cerradas; pero cuando se presente un incendio, el sistema automáticamente debe incrementar su capacidad de inyección de aire hasta alcanzar los caudales calculados a la máxima carga, este cambio repentino es permitido mediante los dispositivos de control denominados variadores de velocidad, ya que son los encargados de modificar la velocidad de giro del motor que acciona el ventilador. (Cruz Ojeda, 2017) afirma que, 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 esta 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. El continuo desarrollo de variadores de velocidad plantea una alternativa más eficiente para el control de flujo, permitiendo aprovechar los accionamientos existentes.

2.5.9.1. Variadores 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. 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). 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. 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. 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: (Cruz Ojeda, 2017)

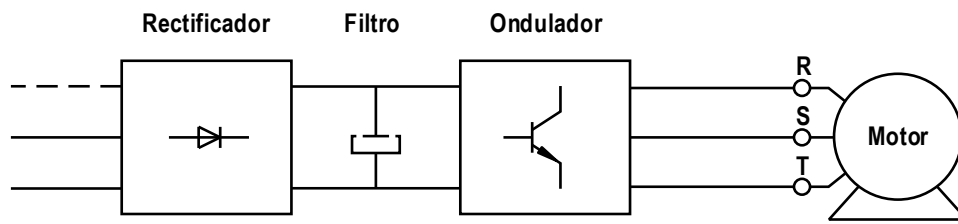


Figura 14: Esquema de variador de velocidad.

Fuente: *Diseño de un Sistema de Inyección de Aire Para Presurización de Escaleras de Emergencia de un Edificio Residencial de Once Pisos* (p. 70), Cruz Ojeda, L. A. R., 2017.

2.5.9.2. Sensores de Humo

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 (Cruz Ojeda, 2017).

2.5.9.3. 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 (Cruz Ojeda, 2017).

2.5.9.4. 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 (Cruz Ojeda, 2017).

La instalación de detectores de humo, e instalación sistematizada del variador de velocidad corresponde al área de instalaciones de telecomunicaciones, razón por la cual, se menciona de manera superficial en el presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación y Geográfica del Estudio

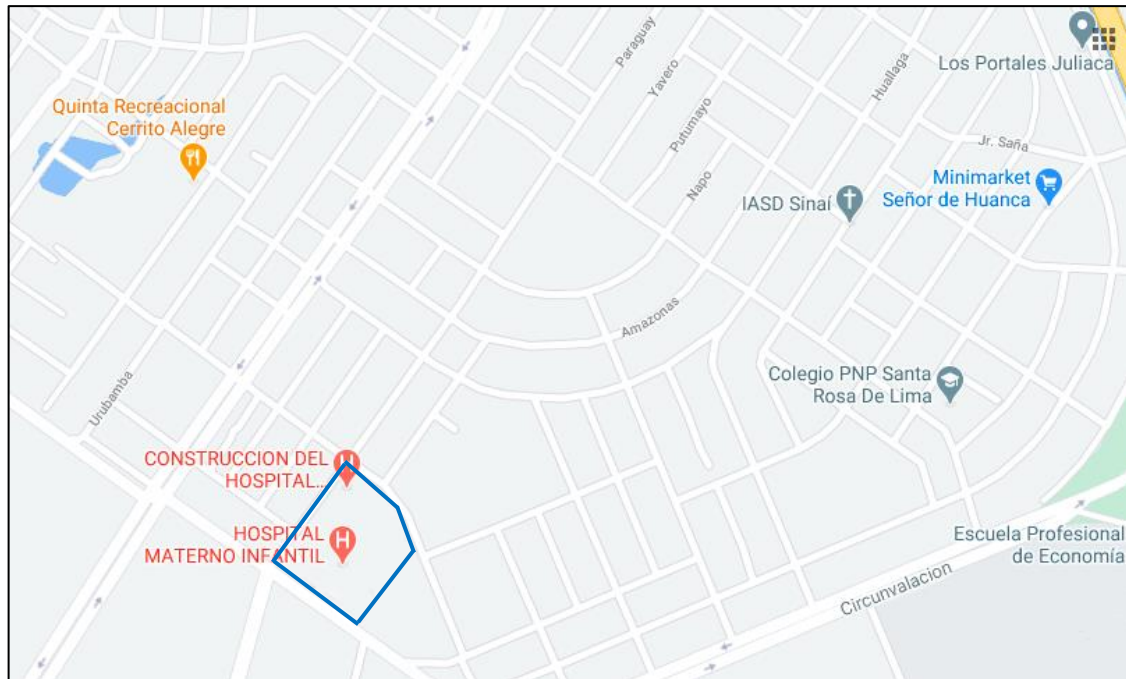


Figura 15: Ubicación del Hospital Materno Infantil en la ciudad de Juliaca.

Fuente: Google Maps.

El terreno, su topografía, sus accesos y vías existentes, se ubican en la Urbanización Municipal Taparachi, de la ciudad de Juliaca, Provincia de San Román, Región de Puno.

El acceso, desde el centro de la Ciudad de Juliaca, es por la Av. Héroes del 4 de noviembre, llegando hasta el óvalo próximo a la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, desviándose por la Circunvalación Sur hasta llegar al Cruce con la Av. Egipto, a 50 m. de esta intersección se encuentra el terreno, para el futuro establecimiento de salud.

El terreno designado tiene las siguientes dimensiones:

- Área total de terreno : 49,159.781 m².



- Perímetro : 939.21 m

El Nuevo Hospital Materno Infantil atenderá al segundo nivel de atención, en el nivel uno de complejidad, en la categoría II-1.

El terreno se encuentra a una altitud de 3 826 metros sobre el nivel del mar. El clima de la ciudad de Juliaca es frío, moderadamente lluvioso y con amplitud térmica moderada. Las temperaturas máximas promedio en la estación de verano (tomando en cuenta los tres últimos años), correspondientes al día y la noche son 19.5°C y 4.0°C respectivamente.

3.1.1. Coordenadas Geográficas

- Latitud : 15°30'0" Sur
- Longitud : 70°7'60" Oeste

3.1.2. Sectores Distribuidos Por Bloques

Según los planos de arquitectura, los ambientes designados, se distribuyen de la siguiente manera:

- Un bloque de tres plantas que alberga los servicios ambulatorios (Consultorios, Programas diversos).
- Un bloque de tres plantas de altura que se une al anterior mediante un Hall de ingreso y distribución, y donde se ubican los Servicios de Emergencias, Ayuda al diagnóstico, nutrición, Lavandería, todos en un primer piso; Unidad de Cuidados Críticos de Adultos y Neonatales, Centro Quirúrgico, Central de Esterilización, Centro Obstétrico en el segundo piso; Hospitalización de Gineco Obstetricia, Pediatría y Neonatología en el tercer piso; y hospitalización de Medicina y Cirugía en el cuarto piso. Los ambientes que conforman la Casa de Fuerza y servicios generales se encuentran separados de estos dos bloques edificatorios. Los ambientes de Residencias Médicas y Casa de Espera Materna, también se

encuentran separadas de los bloques asistenciales.

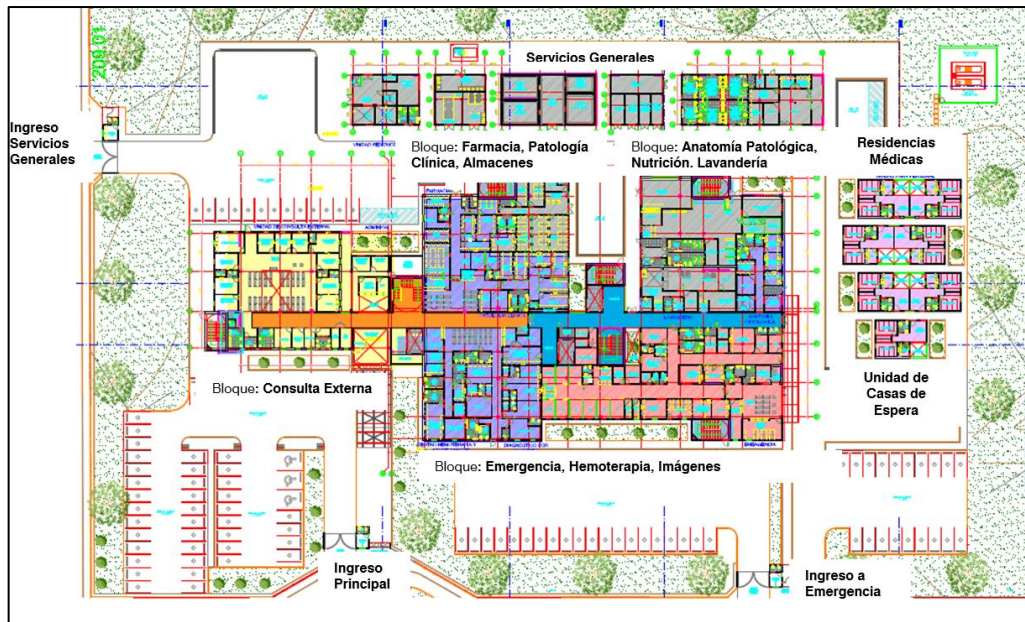


Figura 16: Plano de planta del primer nivel.

Fuente: Expediente técnico del proyecto “Hospital Materno Infantil Cono Sur de Juliaca”.

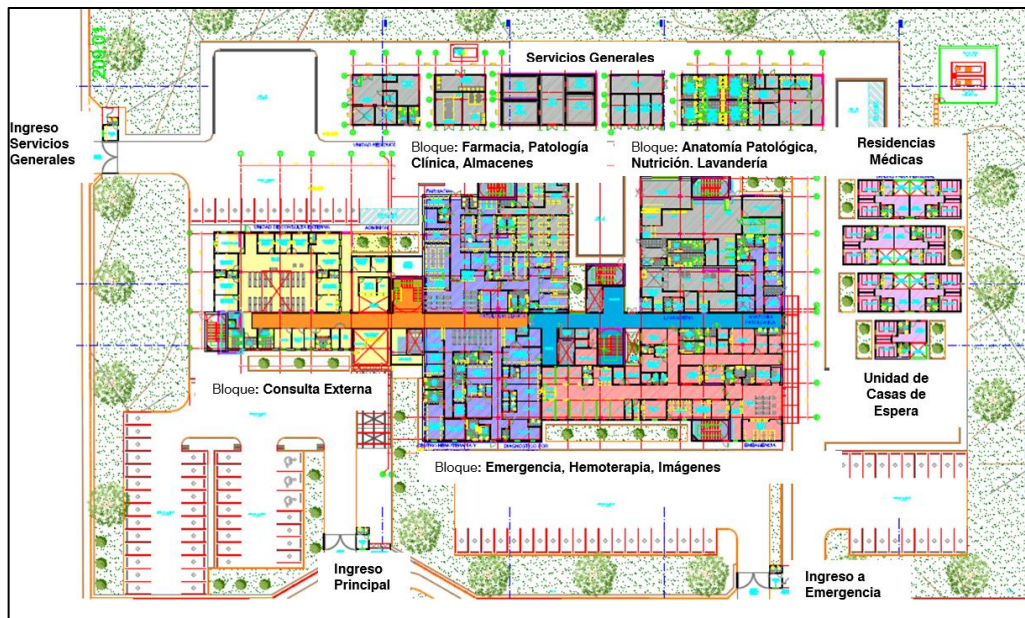


Figura 17: Plano de planta del segundo nivel.

Fuente: Expediente técnico del proyecto “Hospital Materno Infantil Cono Sur de Juliaca”.



Figura 18: Plano de planta del tercer nivel.

Fuente: Expediente técnico del proyecto “Hospital Materno Infantil Cono Sur de Juliaca”.

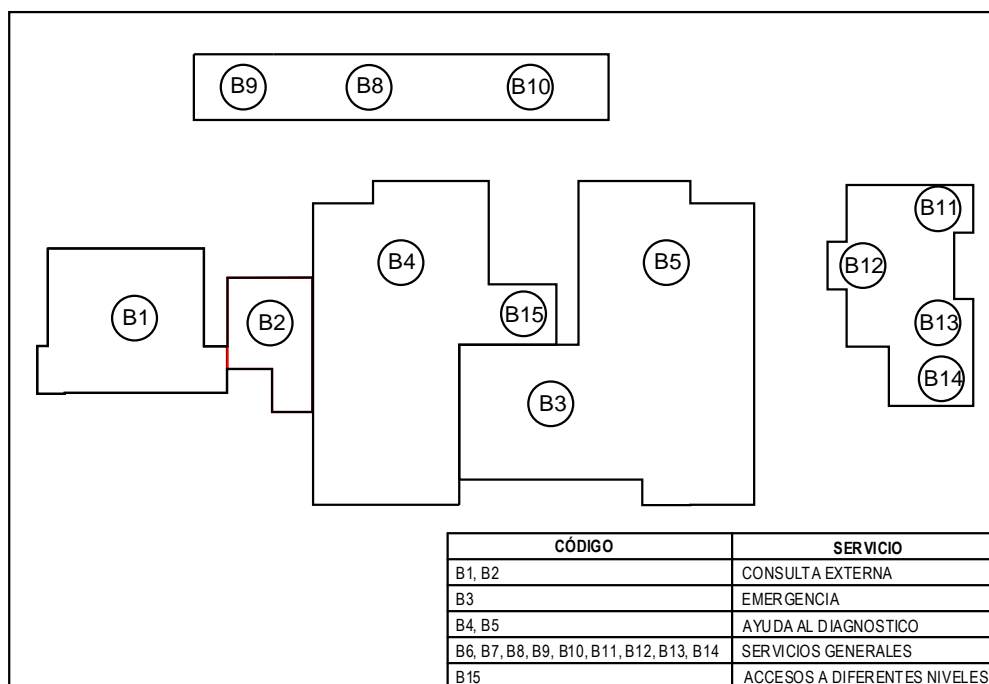


Figura 19: Plano de zonificación según bloques.

Fuente: Expediente técnico del proyecto “Hospital Materno Infantil Cono Sur de Juliaca”.



3.2. Periodo de duración del Estudio

El periodo de estudio está comprendido desde enero del 2018 a setiembre del 2020, que en total suman 33 meses efectivos.

3.3. Materiales

Para la elaboración del presente trabajo de investigación se tuvo que recurrir a la base de datos de diversas entidades públicas y privadas de la región Puno, como también la utilización de varios softwares para realizar los modelamientos ilustrativos y de cálculos que requiere para el desarrollo del trabajo en mención. También se aplicó los contenidos referentes a temas de diseño de escaleras presurizadas de medios bibliográficos e internet. A continuación, se cita los recursos utilizados:

- Las temperaturas máximas y mínimas que se presentan en la ciudad de Juliaca correspondientes a los tres últimos años (2018, 2019 y 2020) obtenidas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), sede Puno.
- Los planos de arquitectura elaborados por el área de infraestructura del Gobierno Regional de Puno.
- Software de diseño Revit MEP en la versión 2019, para la elaboración de modelamientos 3D, presentados en la sección de planos del presente trabajo de investigación.
- Software de dimensionamiento de conductos de aire Ductsize, para el dimensionamiento de conductos transportadores de aire.
- Software de diseño AutoCAD en la versión 2020 para la elaboración de planos y esquemas de distribución de aire.
- Softwares de ofimática: MS Word, Ms Excel y MS Visio.
- Manuales de diseño de la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción,



Refrigeración y Aire Acondicionado.

- Reglamento Nacional de Edificaciones, actualizado hasta el 2014.
- GPS navegador, modelo: Map 64s, Marca: Garmin, N° de Serie: 010-01199-10, procedencia: Taiwán.

3.4. Población y Muestra del Estudio

Para tomar la población y la muestra, se considera la infraestructura central del Hospital Materno Infantil, es decir la que está conformada por los bloques B1, B2, B3, B4, B5 y B15.

- Población: 06 escaleras de circulación vertical.
- Muestra: 04 escaleras de circulación vertical de emergencia, correspondientes a los bloques B1, B4, B5 y B15.

3.5. Evolución Estadística de Temperaturas en la Zona de Estudio

Siendo muy importantes las temperaturas máximas a las que se puede llegar en la ciudad de Juliaca para el diseño de los sistemas de escaleras presurizadas, las condiciones ambientales en estaciones de verano son las más desfavorables, ya que, al estar el aire más caliente, disminuye su densidad, por lo tanto, exige mayor esfuerzo al desempeño del ventilador. Ese es el criterio que se tomó para buscar las temperaturas máximas de la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), sede Puno. Para ello se tomó en cuenta los periodos más calurosos correspondientes a los años 2018, 2019 y 2020.

Cabe mencionar, que, para obtener un resumen específico de las temperaturas máximas, se tubo resumir el reporte mensual que proporciona SENAMHI, según los años de interés para el desarrollo de este estudio de investigación.



Tabla 7: Resumen mensual de temperaturas máximas y mínimas durante los años 2018, 2019 y 2020.

MES / AÑO	TEMP. MÁX. (°C)	TEMP. MÍN. (°C)	HUMEDAD MÁX. (%)	HUMEDAD MÍN. (%)	VEL. DEL VIENTO (m/s)
Ene-18	19.10	1.60	97.00	26.00	11.70
Feb-18	18.50	3.30	97.00	28.00	11.10
Mar-18	18.00	-0.40	96.00	22.00	9.00
Abr-18	18.70	-3.40	97.00	16.00	9.50
May-18	18.10	-3.00	93.00	7.00	10.90
Jun-18	17.50	-3.90	91.00	11.00	12.40
Jul-18	17.20	-4.00	90.00	8.00	10.80
Ago-18	17.50	-3.10	88.00	5.00	12.10
Set-18	18.30	-1.00	81.00	5.00	12.70
Oct-18	19.20	-1.80	89.00	7.00	9.80
Nov-18	18.30	1.20	91.00	6.00	10.20
Dic-18	19.30	1.10	92.00	7.00	11.30
Ene-19	18.40	2.30	93.00	22.00	10.60
Feb-19	19.30	2.00	92.00	29.00	9.60
Mar-19	19.30	1.10	91.00	31.00	9.80
Abr-19	18.90	-0.90	88.00	21.00	9.70
May-19	17.80	-1.50	89.00	14.00	4.70
Jun-19	17.50	-3.30	88.00	9.00	8.50
Jul-19	19.40	-3.90	79.00	5.00	14.30
Ago-19	18.50	-2.90	88.00	5.00	10.40
Set-19	18.30	-1.50	86.00	7.00	11.30
Oct-19	17.80	-1.10	85.00	5.00	10.10
Nov-19	19.00	-0.20	91.00	11.00	13.60
Dic-19	19.10	2.70	89.00	25.00	9.90
Ene-20	18.90	1.00	88.00	17.00	10.00
Feb-20	19.50	4.00	100.00	42.00	10.80
Mar-20	19.10	2.50	93.00	27.00	9.90
Abr-20	18.70	-2.40	94.00	14.00	9.50
May-20	18.50	-3.00	89.00	7.00	10.00
Jun-20	18.80	-3.70	85.00	5.00	8.00
Jul-20	18.40	-3.80	78.00	5.00	9.90
Ago-20	19.50	-2.00	81.00	5.00	12.00
Set-20	19.42	-1.70	89.00	17.00	11.00

Fuente: Base de datos SENAMHI.

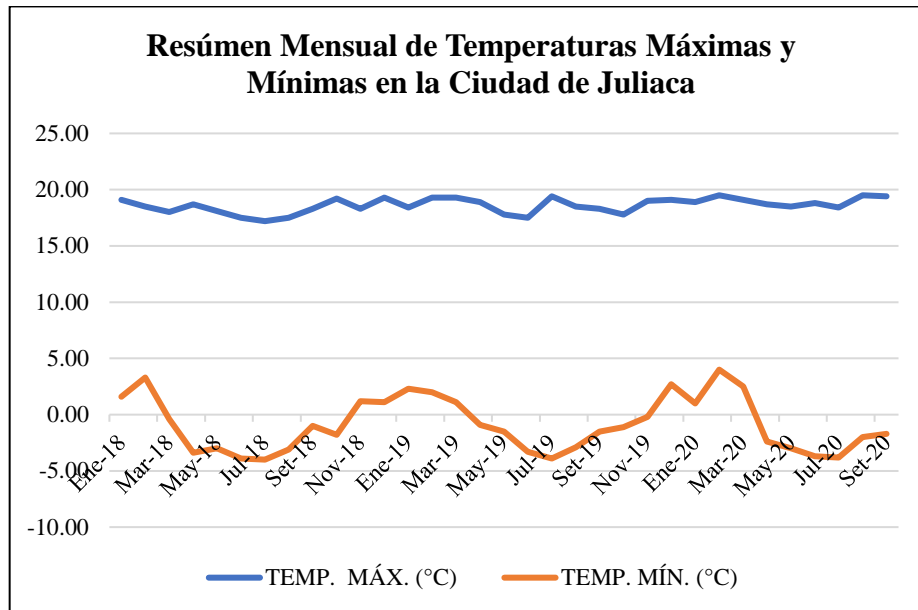


Figura 20: Evolución de temperaturas máximas y mínimas en la ciudad de Juliaca desde enero del 2018 hasta setiembre del 2020.

Elaboración propia.

3.6. Procedimiento del Estudio

3.6.1. Técnicas Para el Procesamiento y Análisis de Datos

La estrategia que se tomó para el procesamiento de datos, fue la aplicación de cálculos, ecuaciones, y recomendaciones provenientes de diversos manuales de diseño de las empresas especialistas en la instalación de los sistemas de presurización de escaleras. Además, se tomó en cuenta, las recomendaciones establecidas en el manual de Diseño de Ingeniería de Control de Humo de la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE). También se consideró las recomendaciones de la norma internacional NFPA 92A.

3.6.2. Plan de Tratamiento de Datos

Una vez obtenidos los datos reales necesarios, estos tuvieron que pasar por una serie de procedimientos de carácter analítico, con la finalidad de obtener los caudales adecuados para logra la presurización requerida. Además, se tuvo que seleccionar los conductos de aire adecuados para el transporte de los caudales calculados. También la



selección de accesorios, como, reducciones, codos, derivaciones y rejillas de carga.

Después, se pasó seleccionar los quipos adecuados de inyección o extracción de aire, según los caudales y caídas de presión, producto de los cálculos realizados previamente.

También se hizo una evaluación económica sobre el costo que demandará la instalación de la presurización de las cuatro escaleras de emergencia designadas, como ya fue mencionado anteriormente, dos de ellas cuentan con un sistema exclusivamente presurizada, y las otras dos, son presurizadas, pero sus respectivos vestíbulos previos ventilados.

3.7. Identificación de Variables

- Variable dependiente: Escaleras presurizadas de emergencia.
- Variable independiente: Inyección mecánica de aire.

3.8. Método de estudio

3.8.1. Diseño de investigación

La presente investigación es experimental, puesto que, según Arias (2012), la investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente).

Se optó por el diseño experimental, ya que se manipulan las variables para dar resultados que busquen validar las hipótesis planteadas.

3.8.2. Nivel de Investigación

Este estudio es de nivel explicativo, porque se busca determinar los efectos después de aplicar el experimento mediante la prueba de hipótesis.

Arias (2012), afirma que, la investigación explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este

sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación post facto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis.

3.8.3. Enfoque de Investigación

El enfoque considerado para esta investigación es cuantitativo, ya que se recolecta los datos en base a la medición numérica, para probar las hipótesis planteadas. Concepto que guarda relación con la afirmación de Colomé y Femenia (2018), quienes definen que, en este tipo de investigación el objeto de investigación se caracteriza mediante variables cuantificables, si alguna de las variables consideradas no lo es, entonces no es atinente a la investigación en curso debido a que las correlaciones entre ellas son siempre de naturaleza numérica. Generalmente busca la explicación mediante la prueba de una hipótesis. Es el tipo de enfoque más empleado en ciencia aplicada y tecnología.

3.8.4. Método de investigación

El método es analítico, porque se distingue y se separan las partes del todo, para poder conocer los principios generales de funcionamiento.

Según Colomé y Femenia (2018), el método de investigación analítica, consiste en descomponer el objeto de estudio en sus partes integrantes estudiando cada una de ellas, asumiendo que el conocimiento de dichas partes traerá aparejado el conocimiento del objeto como un todo. Si bien la comprensión y el conocimiento de las partes son necesarios para el conocimiento del objeto completo, no deben olvidarse que pueden surgir nuevas relaciones entre las partes cuando las mismas funcionan como un todo.

3.9. Análisis de los Resultados

En la presente investigación se detallaron minuciosamente, los procedimientos para lograr presurizar las escaleras de emergencia por inyección mecánica de aire, para ello, se tuvo que seguir secuencialmente una serie procedimientos (ver la figura 21):

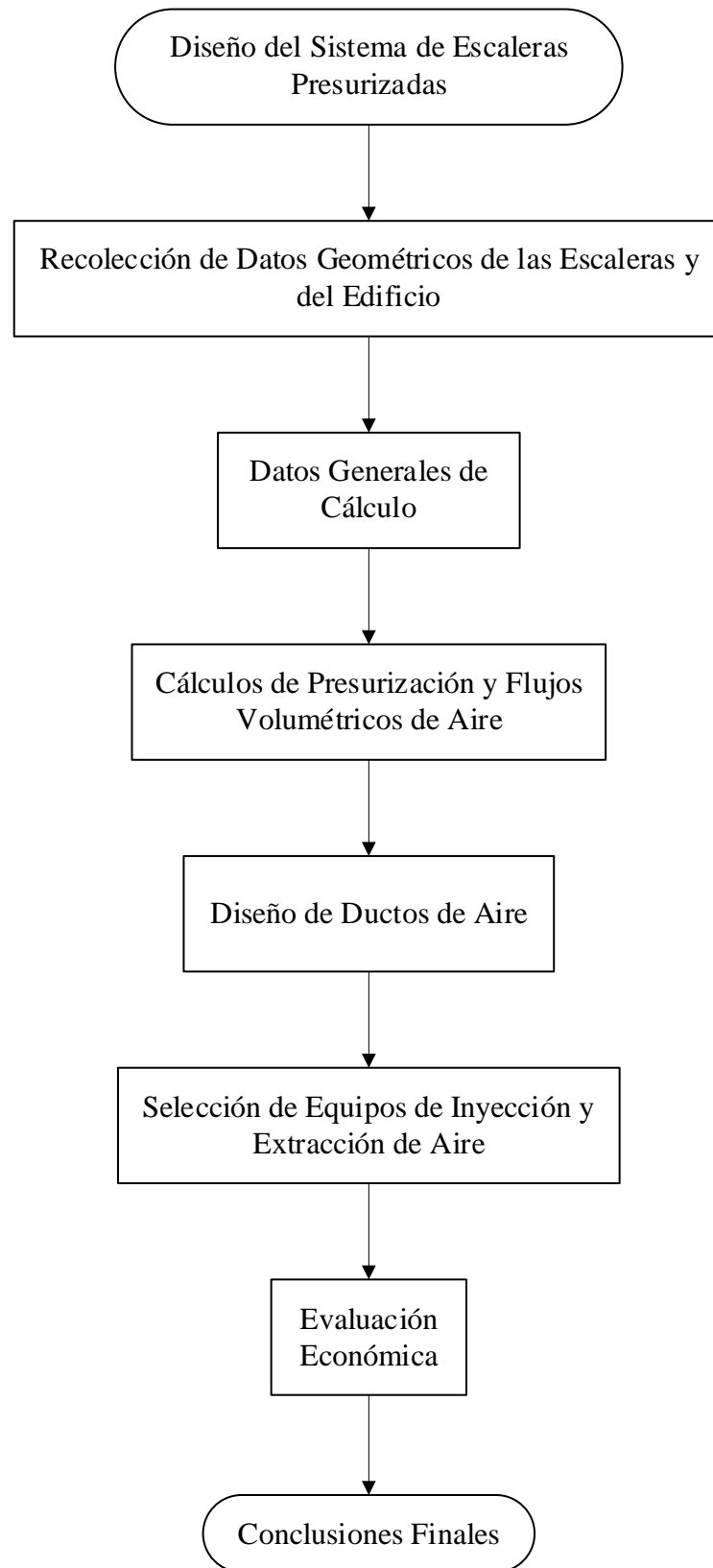


Figura 21: Diagrama de flujo del proceso de diseño de escaleras presurizadas.

Elaboración propia.

3.9.1. Diseño del Sistema de Escaleras Presurizadas

3.9.1.1. Recolección de Datos Geométricos de las Escaleras y del Edificio

Siendo la parte central de la infraestructura del hospital, un edificio de tres niveles, comprendidos por los bloques B1, B2, B3, B4, B5 y B15 (Ver figura 19), y en donde serán instaladas los sistemas de escaleras de emergencia, se pueden extraer los siguientes datos geométricos constructivos:

- Perímetro del Edificio : 401 m
- Área del Edificio : 4001 m²

Con respecto a las dimensiones típicas de cada escalera, se tienen los siguientes datos:

- Perímetro de la Escalera : 23.20 m
- Altura por Planta : 4.25 m

Las puertas que componen la caja de escaleras tienen las siguientes características semejantes entre ellas:

- Altura de la Puerta (Hd) : 2.10 m
- Ancho de la Puerta (Wd) : 1.00 m
- Perímetro de la Puerta (Pd) : 6.20 m
- Área de la Puerta (Sd) : 2.10 m²
- Distancia de la inferior de la puerta a la Perilla : 0.90 m
- Distancia del lado de apertura de la puerta a la Perilla (d) : 70.00 mm
- Espacio de fuga alrededor de la puerta (e) : 4.00 mm
- Espesor de la Puerta : 68 mm
- Material de protección : Pintura cortafuego
- Fuerza máxima de apertura de la puerta (F) : 133.45 N
- Fuerza de cierre de la puerta (Fi) : 44.48 N



- Área de fuga alrededor de la puerta cerrada : 0.02 m²

3.9.1.2. Datos Generales de Cálculo

En primera instancia, se toma en cuenta las condiciones ambientales del lugar preciso en donde se instalarán los sistemas de escaleras presurizadas. Se tiene los siguientes datos:

- Temperatura Exterior de Diseño (Tr) : 292.7 °K
- Temperatura Interior de Diseño (Tp) : 294.7 °K
- Presión Atmosférica en la ciudad de Juliaca : 63.05 KPa
- Densidad del aire : 0.771 Kg/m³
- Viscosidad cinemática del aire : 2.31*10⁻⁵ m²/s

Otro aspecto importante, son los datos que se involucran en la construcción general del edificio en estudio. Los cuales, se detallan a continuación:

- Número de niveles del edificio : 03
- Área lateral del edificio : 1704.25 m²
- Área lateral de la escalera : 98.60 m²
- Área de flujo de aire entre el edificio y el exterior : 0.29 m²
- Área de flujo de aire entre la escalera y el edificio : 0.04 m²
- Factor de temperatura:

Procedimiento:

Para obtener el factor de temperatura, se aplica la ecuación 01:

$$FT = 2154 * \left(\frac{1}{Tr} - \frac{1}{Tp} \right)$$

$$FT = 2154 * \left(\frac{1}{292.7} - \frac{1}{294.7} \right)$$

$$FT = 0.050 Pa/m$$

- Altura Total de la Caja de Escaleras:

$$h = 14.05 \text{ m}$$

El diseño del sistema tiene limitaciones teóricas que son representadas en ecuaciones matemáticas, que involucran condiciones ambientales y características constructivas de la caja de escaleras. Los principales aspectos limitantes son:

- Presión Máxima de Diseño con todas las puertas cerradas.

Procedimiento:

Reemplazar en la ecuación 09:

$$DP_{max} = \frac{2 * (F - Fi) * (Wd - \frac{d}{1000})}{Wd * Sd}$$
$$DP_{max} = \frac{2 * (133.45 - 44.48) * (1 - \frac{70}{1000})}{1 * 2.10}$$
$$DP_{max} = 78.80 \text{ Pa}$$

- Altura Límite de Diseño:

Procedimiento:

Reemplazar en la ecuación 10:

$$H_{max} = \frac{Kh * (DP_{max} - DP_{min}) * (Sqr^2 + Spq^2)}{\left| \frac{1}{Tr} - \frac{1}{Tp} \right| * Sqr^2}$$
$$H_{max} = \frac{4.642 * 10^{-4} * (78.80 - 12.45) * (0.29^2 + 0.04^2)}{\left| \frac{1}{292.7} - \frac{1}{294.7} \right| * 0.29^2}$$
$$H_{max} = 1353.18 \text{ m}$$

Este valor indica la máxima altura que permite diseñar el sistema de presurización de escaleras, considerando las condiciones ambientales y constructivas que se insertaron en la etapa de recolección de datos de cálculos.

Como se puede observar en la figura 22, la altura total de la escalera presurizada es de 14.05 m, que resulta ser inferior al valor máximo que permite la ecuación de altura límite del sistema (1353.18 m), lo cual indica que, es posible continuar con el diseño.

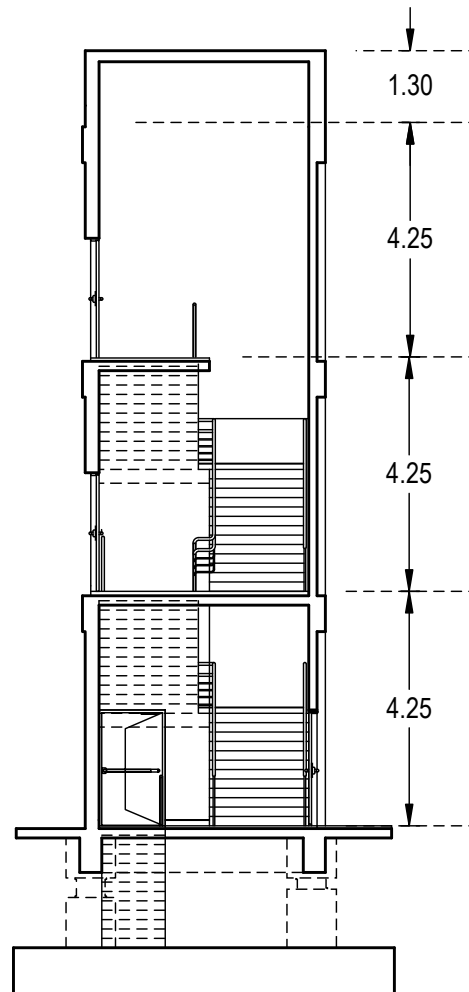


Figura 22: Detalle de alturas por nivel en la caja de escaleras.

Fuente: Planos de detalles de arquitectura del expediente técnico del proyecto “Hospital Materno Infantil Cono Sur de Juliaca”.

Nota: todas las unidades mostradas en la figura están dadas en metros lineales (ml).

3.9.1.3. Cálculos de Presurización y Flujos Volumétricos de Aire Para Sistemas de Presurización Sin Vestíbulos Previos Ventilados

Ahora se deberá determinar las presiones mínimas y máximas por acción del aire, que soporta la caja de escaleras con respecto al edificio y al exterior:

- Presión Diferencial en la Parte Inferior de la Escalera Respecto al Edificio:

$$DP_{pq1} = 12.45 Pa$$

- Presión Diferencial en la Parte Superior de la Escalera Respecto al Edificio:



Procedimiento:

Reemplazar en la ecuación 02:

$$DPpq2 = DPpq1 + \frac{h * FT * Sqr^2}{Spq^2 + Sqr^2}$$
$$DPpq2 = 12.45 + \frac{14.05 * 0.050 * 0.29^2}{0.04^2 + 0.29^2}$$
$$\mathbf{DPpq2 = 13.14 Pa}$$

- Presión Diferencial en la Parte Inferior de la Escalera Respecto al Exterior:

Procedimiento:

Reemplazar en la ecuación 03:

$$DPpr1 = \frac{(Sqr^2 + Spq^2) * DPpq1}{Sqr^2}$$
$$DPpr1 = \frac{(0.29^2 + 0.04^2) * 12.45}{0.29^2}$$
$$\mathbf{DPpr1 = 12.69 Pa}$$

- Presión Diferencial en la Parte Superior de la Escalera Respecto al Exterior:

Procedimiento:

Reemplazar en la ecuación 04:

$$DPpr2 = FT * h + \frac{(Sqr^2 + Spq^2) * DPpq1}{Sqr^2}$$
$$DPpr2 = 0.050 * 14.05 + \frac{(0.29^2 + 0.04^2) * 12.45}{0.29^2}$$
$$\mathbf{DPpr2 = 13.39 Pa}$$

Seguidamente, se debe determinar los flujos máxicos de aire necesarios para presurizar la escalera en tres casos diferentes:

- Cuando todas las puertas internas se encuentran cerradas:

Procedimiento:

Reemplazar en la ecuación 05:



$$FM1 = Ko1 * No1 * So1 * \sqrt{DPpq1 + DPpq2}$$

$$FM1 = 0.571 * 4 * 0.04 * \sqrt{12.45 + 13.14}$$

$$FM1 = 0.46 \text{ Kg/s}$$

- Cuando dos puertas internas se encuentran abiertas:

Reemplazar en la ecuación 06:

$$FM2 = Ko2 * No2 * So2 * \sqrt{DPpq1 + DPpq2}$$

$$FM2 = 0.571 * 2 * 0.29 * \sqrt{12.45 + 13.14}$$

$$FM2 = 1.68 \text{ Kg/s}$$

- Cuando la puerta exterior se encuentra abierta:

Reemplazar en la ecuación 07:

$$FM3 = Ko3 * So3 * \sqrt{DPpr1}$$

$$FM3 = 0.807 * 2.10 * \sqrt{12.69}$$

$$FM3 = 6.04 \text{ Kg/s}$$

Para hallar la capacidad de suministro del equipo inyector de aire, se debe considerar un caso crítico: que una puerta interna esté cerrada, dos puertas internas abiertas y la puerta exterior abierta. Quedando como resultado el flujo másico total de inyección de aire:

$$FM4 = 7.84 \text{ Kg/s}$$

Es posible determinar el flujo volumétrico, dividiendo el flujo másico obtenido, entre la densidad del aire del medio ambiente, quedando como resultado:

$$FV4 = 10169 \text{ l/s}$$

3.9.1.4. Cálculos de Presurización y Flujos Volumétricos de Aire Para Sistemas de Presurización Con Vestíbulos Previos Ventilados.

Tomado en cuenta, que las características constructivas y condiciones ambientales para cada escalera de emergencia son similares, los procesos de cálculo para la

presurización de escaleras con vestíbulos previos ventilados son análogos a los que se hizo para sistemas netamente presurizados. Por lo tanto, los resultados de cálculo se resumen en:

- Presión Diferencial en la Parte Inferior de la Escalera Respecto al Edificio:

$$DP_{pq1} = 24.91 Pa$$

- Presión Diferencial en la Parte Superior de la Escalera Respecto al Edificio:

$$DP_{pq2} = 25.60 Pa$$

- Presión Diferencial en la Parte Inferior de la Escalera Respecto al Exterior:

$$DP_{pr1} = 25.38 Pa$$

- Presión Diferencial en la Parte Superior de la Escalera Respecto al Exterior:

$$DP_{pr2} = 26.09 Pa$$

Seguidamente, se debe determinar el flujo másico de aire con todas las puertas internas cerradas, resultando:

$$FM1 = 0.65 Kg/s$$

Se obtiene el siguiente flujo volumétrico:

$$FV1 = 843 l/s$$

Aplicado un factor de seguridad de 40%, se tiene la capacidad del inyector de aire:

$$FV2 = 1180 l/s$$

3.9.1.5. Cálculo de Ventilación de Vestíbulos

Los vestíbulos que anteceden a las escaleras de emergencia tienen un volumen de 46.88 m³, según los planos de arquitectura proporcionados.

La Norma Técnica Peruana A.010, en el Capítulo VI, indica que: “El vestíbulo deberá de contar con por lo menos un cambio de aire por minuto”. También afirma que: “La extracción de aire en el vestíbulo deberá ser el 150% de la inyección de aire al vestíbulo”. Por lo tanto, se puede obtener los siguientes resultados:

- Flujo volumétrico de inyección de aire por cada vestíbulo:

$$FV1 = 781 \text{ l/s}$$

- Flujo volumétrico del inyector de aire (considerando los tres niveles del edificio):

$$FV2 = 2343 \text{ l/s}$$

- Flujo volumétrico de extracción de aire por cada vestíbulo:

$$FV3 = 1172 \text{ l/s}$$

- Flujo volumétrico del extractor de aire (considerando los tres niveles de edificio):

$$FV4 = 3516 \text{ l/s}$$

3.9.1.6. Diseño de Conductos de Aire

Ahora se procederá a dimensionar los conductos metálicos de forma rectangular, encargados de transportar el aire desde los equipos ventiladores hasta las respectivas rejillas de descarga. Para una fácil comprensión, se ha diseñado unos esquemas que describen el paso de todas las ramificaciones principales y secundarias, dependientes de los equipos IC-E.01, IC-E.02, IC-E.03 y EC-E.04 (ver figuras 23 y 24).

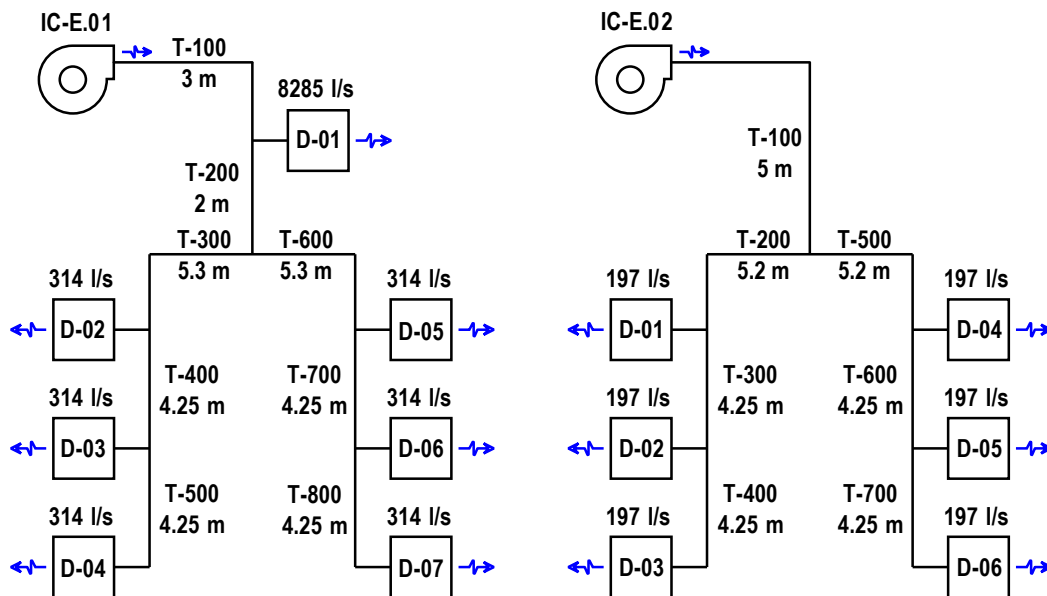


Figura 23: Esquemas de distribución de aire para la construcción de conductos para la presurización de cajas de escaleras.

Elaboración propia.

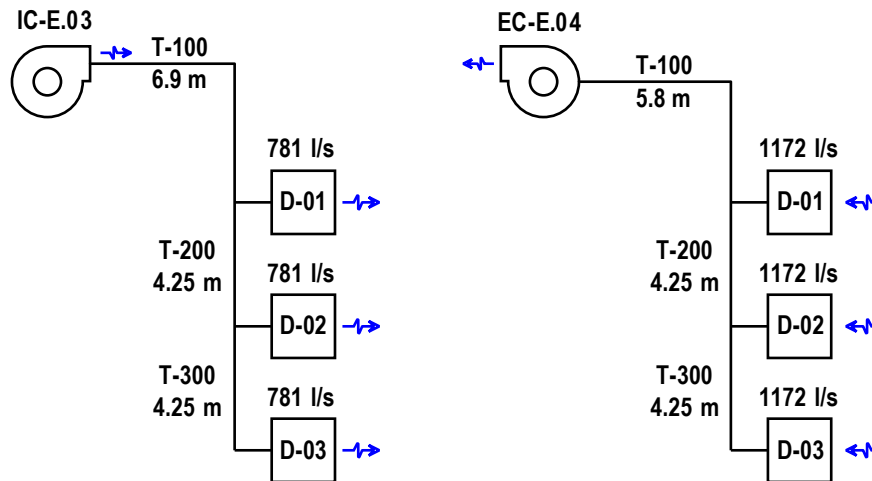


Figura 24: Esquemas de distribución de aire para la construcción de conductos para la ventilación de vestíbulos.

Elaboración propia.

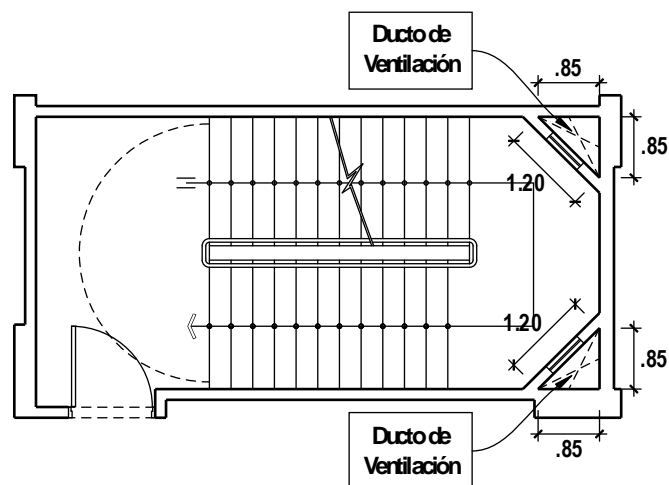


Figura 25: Ductos triangulares de ventilación.

Fuente: Planos de arquitectura del expediente técnico del proyecto “Hospital Materno Infantil Cono Sur de Juliaca”.

Nota: Todas las unidades mostradas en la figura están dadas en metros lineales (ml).

Según el diseño de arquitectura, se cuenta con dos ductos semejantes, de material noble, con formas de triángulos rectángulos equiláteros, para la inyección de aire hacia la caja de escaleras, dichos ductos tienen las siguientes características (ver figura 25):

Longitud de los catetos : 0.85 m

Longitud de la hipotenusa	: 1.20 m
Perímetro interno de ducto	: 2.90 m
Área interna del ducto	: 0.36 m ²

Los ductos mostrados en la figura 25, no podrán ser utilizados a plenitud, pues ningún manual ni norma indican procedimiento alguno para el cálculo de parámetros de diseño en conductos triangulares, ya que, según las recomendaciones de ASHRAE y SMACNA, los conductos de aire pueden ser de forma rectangular, circular u oval, para los cuales, si existen procedimientos experimentales conocidos y aplicables, motivo por la cual, se plantea insertar un conducto de metálico rectangular en el ducto triangular de material noble, tal que, abarque la mayor cantidad área útil posible.

En el caso de la escalera presurizada sin vestíbulos previos ventilados, el conducto rectangular metálico no será suficiente para trasladar la gran cantidad de aire desde inyector hacia las rejillas terminales, ya que la velocidad de aire sería muy elevada, por lo que, se opta por inyectar la mayor cantidad de aire desde la tapa de la caja de escaleras, mediante un ramal con dimensiones de 1000x1000mm, el resto por rejillas en pared.

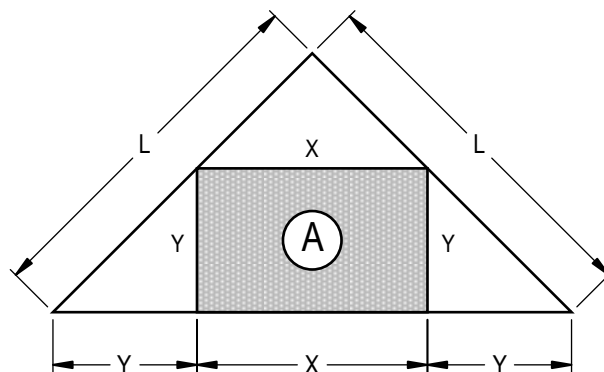


Figura 26: Representación teórica de las máximas dimensiones del conducto rectangular troncal, (región sombreada).

Elaboración propia.

De la figura 26, se puede definir las siguientes variables:

L : Lado del cateto del ducto triangular.



X : Ancho del conducto metálico rectangular.

Y : Alto del conducto metálico rectangular.

A : Área máxima permisible del conducto rectangular.

A continuación, se muestra el procedimiento para determinar la dimensión máxima del conducto rectangular que se desea instalar dentro del ducto triangular planteado por arquitectura:

Del triángulo rectángulo, se puede despejar la siguiente expresión:

$$\sqrt{2} * L = 2 * Y + X \quad (\text{i})$$

Despejando la variable “Y”, se tiene:

$$Y = \frac{\sqrt{2} * L - X}{2} \quad (\text{ii})$$

Se define el área del conducto metálico rectangular como:

$$A = X * Y \quad (\text{iii})$$

Reemplazado la ecuación (ii) en (iii), se tiene:

$$A = X * \left(\frac{\sqrt{2} * L - X}{2} \right)$$
$$A = \frac{\sqrt{2}}{2} * L * X - \frac{X^2}{2} \quad (\text{iv})$$

Se deberá derivar la variable “A” de la ecuación (iv) con respecto a la variable “X”:

$$\frac{d(A)}{dx} = \frac{\sqrt{2}}{2} * L - X \quad (\text{v})$$

Para conseguir el máximo valor de “A”, se deberán conseguir el máximo valor de “X”, esto será posible cuando: $d(A)/dx = 0$, reemplazando valor en la ecuación (v), se tiene:



$$0 = \frac{\sqrt{2}}{2} * L - X$$

$$X = \frac{\sqrt{2}}{2} * L \quad \text{(vi)}$$

Ahora, para conseguir la variable “Y”, se deberá reemplazar la ecuación (vi) en (i):

$$\sqrt{2} * L = 2 * Y + \frac{\sqrt{2}}{2} * L$$

$$Y = \frac{\sqrt{2}}{4} * L \quad \text{(vii)}$$

Teniendo como dato la medida de los catetos del ducto triangular: $L = 850 \text{ mm}$, se reemplaza “L” en la ecuación (vi), para conseguir “X” máxima:

$$X = \frac{\sqrt{2}}{2} * 850$$

$$X = 601.04 \text{ mm}$$

Reemplazando “L” en la ecuación (vii) se puede conseguir “Y” máxima:

$$Y = \frac{\sqrt{2}}{4} * 850$$

$$Y = 300.52 \text{ mm}$$

Los resultados de las dimensiones del conducto rectangular obtenidos son teóricamente exactos, sin embargo, en la práctica, los conductos metálicos requieren de un espacio adicional para sus respectivos anclajes en muros, razón por la cual, los resultados se reducirán a su valor estándar consecutivo inferior, puesto que no es posible incrementar las dimensiones del ducto triangular. Quedando al final, la dimensión estándar de:

$$W \times H = 550 \times 250 \text{ mm}$$

A continuación, se procede al dimensionamiento de cada uno de los tramos de los



sistemas definidos en los esquemas de las figuras 23 y 24.

En el sistema de presurización sin vestíbulos ventilados, se analiza el conducto troncal principal denominado T-100, la cual, se conecta directamente al equipo inyector de aire IC-E.01.

Como se puede apreciar en la tabla 06, la máxima velocidad recomendada es de 11.20 m/s. Se deberá tomar la máxima velocidad, pues, en un eventual incendio, no es tan importante la percepción de la velocidad del aire que sale de rejillas de inyección, ya que, en ese momento las personas estarán más preocupadas en salvar sus vidas.

Por lo tanto, se selecciona un conducto rectangular de 1050 x 1000 mm de fierro galvanizado, cuyo material tiene una rugosidad de 0.1524 mm, con una longitud de 3m.

El diámetro circular equivalente se obtiene utilizando la ecuación 11:

$$De = 1.30 * \frac{(W * H)^{0.625}}{(W + H)^{0.25}}$$
$$De = 1.30 * \frac{(1050 * 1000)^{0.625}}{(1050 + 1000)^{0.25}}$$

$$De = 1120 \text{ mm}$$

Además, en el tramo T-100, pasa un flujo volumétrico de aire acumulado de 10169 l/s, que es directamente inyectado por el ventilador centrífugo.

Ahora, para verificar que la velocidad de aire que pasa por el interior del conducto no supere el valor máximo permitido, se utiliza la ecuación del caudal de aire;

$$FV = \frac{V * A}{1000} \quad (\text{Ec.22})$$

Donde :

FV : Flujo volumétrico de aire (l/s).

V : Velocidad del aire (m/s).

A : Área del conducto (mm²).

Despejando la velocidad del aire “V”, en la ecuación 22, se tiene:



$$V = \frac{1000 * FV}{A}$$

$$V = \frac{1000 * 10169}{\pi * \frac{1120^2}{4}}$$

$$V = 10.32 \text{ m/s}$$

Se puede observar que el valor de la velocidad calculada es menor que el valor máximo permitido de 11.20 m/s, entonces, la dimensión del conducto rectangular seleccionado es correcta.

Para el cálculo de las pérdidas primarias, se requiere determinar una serie de valores que serán calculadas matemáticamente, utilizando los conocimientos de mecánica de fluidos. Dichos valores son: presión de velocidad, número de Reynolds, factor de fricción, pérdida de presión por longitud de conducto, y finalmente, la pérdida por fricción.

Para hallar la presión de velocidad, se debe utilizar la ecuación 17:

$$PV = \frac{\rho * V^2}{2}$$

$$PV = \frac{0.771 * 10.32^2}{2}$$

$$PV = 41.10 \text{ Pa}$$

El número de Reynolds, se calcula mediante la ecuación 16, de la siguiente manera:

$$Re = \frac{De * V}{1000 * \nu}$$

$$Re = \frac{1120 * 10.32}{1000 * 2.31 * 10^{-5}}$$

$$Re = 500364$$

Del resultado obtenido, se puede observar que es mayor que $Re = 4000$, entonces, se trata de un flujo de aire turbulento.

Para hallar el factor de fricción en el tramo seleccionado, que depende de la rugosidad del material y del número de Reynolds calculado, se debe utilizar la ecuación 15:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10} * \left(\frac{\varepsilon}{3.7 * De} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10} * \left(\frac{0.1524}{3.7 * 1120} + \frac{2.51}{500364 * \sqrt{f}} \right)$$

Como la variable “f” es difícil de despejar, se procede al método iterativo, que consiste en despejar la variable “f”, con la finalidad de lograr que se comporte como variable dependiente e independiente de forma simultánea en cada uno de los miembros de la ecuación 15, que es requisito indispensable para la aplicación de la metodología seleccionada. Después se procede a ingresar un valor inicial en la ecuación y obtener un resultado. Después ingresar el resultado obtenido para procesarlo en la misma ecuación y conseguir un resultado más convergente. El paso anterior se repetirá cuantas veces sea necesaria con el fin de conseguir que la diferencia entre el último y penúltimo resultado sea mínima y muy aceptable.

Entonces, se despeja la variable “f” en el primer miembro de la ecuación 15:

$$f = \left[-2 * \log_{10} * \left(\frac{0.1524}{3.7 * 1120} + \frac{2.51}{500364 * \sqrt{f}} \right) \right]^{-2}$$

Primera iteración. Asumiendo que $f = 0.018$:

$$f = \left[-2 * \log_{10} * \left(\frac{0.1524}{3.7 * 1120} + \frac{2.51}{500364 * \sqrt{0.018}} \right) \right]^{-2}$$
$$f = 0.0147$$

Segunda iteración. Reemplazando $f = 0.0147$:

$$f = \left[-2 * \log_{10} * \left(\frac{0.1524}{3.7 * 1120} + \frac{2.51}{500364 * \sqrt{0.0147}} \right) \right]^{-2}$$
$$f = 0.0148$$

Tercera iteración. Reemplazando $f = 0.0148$:

$$f = \left[-2 * \log_{10} * \left(\frac{0.1524}{3.7 * 1120} + \frac{2.51}{500364 * \sqrt{0.0148}} \right) \right]^{-2}$$

$$f = \mathbf{0.0148}$$

Como se puede observar, la diferencia entre la segunda y la tercera iteración es muy pequeña. Por lo tanto, para el cálculo se elige un factor de fricción: $f = 0.0148$.

La pérdida de presión por longitud de conducto depende del factor de fricción, presión de velocidad y diámetro circular equivalente. Para ello, se utiliza la ecuación 13:

$$\frac{\Delta Pf}{L} = \frac{1000 * f * PV}{De}$$

$$\frac{\Delta Pf}{L} = \frac{1000 * 0.0148 * 41.10}{1120}$$

$$\frac{\Delta Pf}{L} = \mathbf{0.54 \frac{Pa}{m}}$$

Utilizando la ecuación 12 (Darcy – Colebrook), se calcula la pérdida por fricción:

$$\Delta Pf = \left(\frac{\Delta Pf}{L} \right) * L$$

$$\Delta Pf = 0.54 * 3$$

$$\Delta Pf = \mathbf{1.62 Pa}$$

Para el cálculo de pérdidas en los accesorios, también llamadas pérdidas secundarias, se utilizan las tablas mostradas en el manual de ASHRAE 2009 – Fundamentals (SI).

Continuando con el análisis en el tramo T-100, se procede a determinar todas las pérdidas secundarias de presión que repercuten en el tramo seleccionado.

Se puede observar que el tramo troncal T-100, cuyo caudal de aire es impulsado por IC-E.01, se le conecta un tramo ramal denominado D-01, que inyecta 8285 l/s desde el techo a la caja de escaleras (ver figura 23).

Utilizando el software denominado Duct Fitting Database, desarrollado por



ASHRAE, se analiza cada uno de los accesorios que producen las pérdidas secundarias de presión en el tramo troncal T-100.

Para la derivación a D-01 a T-100, se utiliza un TEE Angular de entrada a ramal. Tal accesorio, tiene la notación de SR5-13 en el manual de ASHRAE – Fundamental (2009). El procedimiento se detalla a continuación:

Datos de Entrada:

Alto del Conducto T-100	: 1000 mm
Ancho del Conducto T-100	: 1050 mm
Alto del Conducto T-200	: 500 mm
Ancho del Conducto T-200	: 500 mm
Alto del Conducto D-01	: 1000 mm
Ancho del Conducto D-01	: 1000 mm
Flujo Volumétrico de aire en T-100	: 10169 l/s
Flujo Volumétrico de aire en D-01	: 8285 l/s

Resultados en el Tramo Ramal:

Velocidad del aire en D-01	: 8.80 m/s
Presión de velocidad en D-01	: 29.90 Pa
Coefficiente de pérdida de presión en D-01	: 0.99
Pérdida de presión en D-01	: 29.60 Pa
Pérdida de presión de la rejilla en el tramo D-01	: 12.00 Pa
Pérdida de presión secundaria total en el tramo D-01	: 41.60 Pa

Resultados en el Tramo Troncal:

Velocidad del aire en T-200	: 8.04 m/s
Velocidad del aire en T-100	: 10.32 m/s
Presión de velocidad en T-200	: 25.00 Pa

Presión de velocidad en T-100	: 41.10 Pa
Coefficiente de pérdida de presión en T-200	: 0.41
Pérdida de presión en T-200	: 10.25 Pa

Se puede observar que, el accesorio SR5-13 no produce ningún tipo de caída de presión sobre T-100. Sin embargo, repercute en los tramos que derivan desde la troncal principal, los cuales son: T-200 y D-01 (ver figura 27).

Habiendo dimensionado por completo el tramo troncal T-100, se puede apreciar que el procedimiento de cálculo es bastante extenso y teniendo en cuenta que son cuatro los sistemas de análisis, se opta por utilizar un software de cálculo de conductos de aire, denominado Ductsize. El uso de este programa reduce enormemente el esfuerzo y el tiempo empleado por conceptos de cálculo.

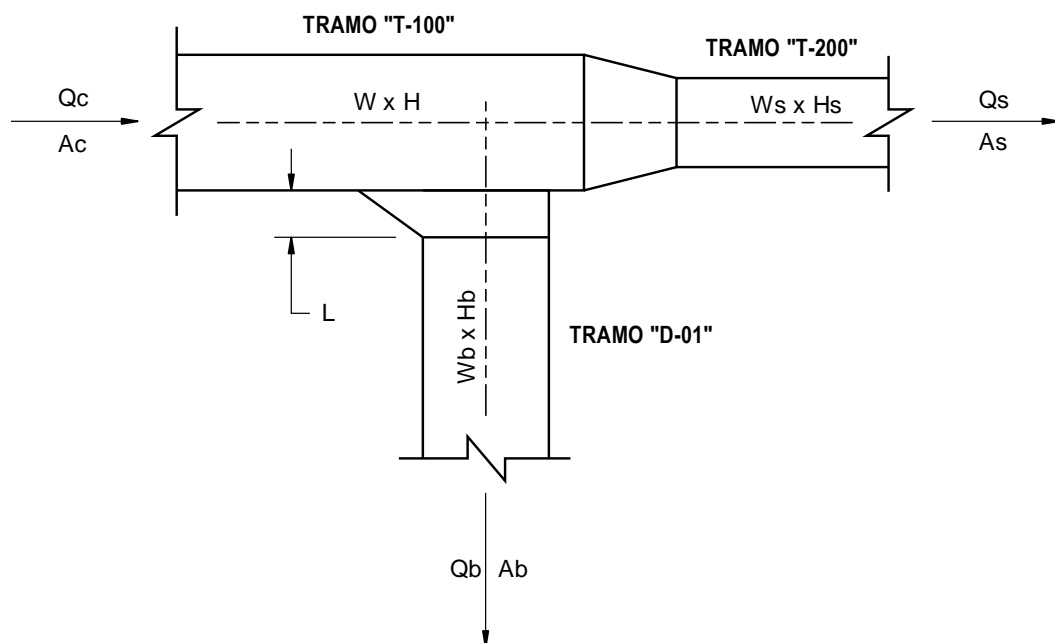


Figura 27: Accesorio SR5-13 con tramos definidos.

Fuente: ASHRAE Handbook - Fundamentals (p. 64), ASHRAE, 2009.

A continuación, se presentan los resultados procesados por el software de cálculo de dimensión de conductos de manera resumida (ver desde la tabla 08 hasta la tabla 15):

Tabla 8: Pérdidas de presión en conductos principales para IC-E.01.

<i>System 1 "IC-E.01" - Trunk Output Data - Supply</i>												
Trunk Upstr Vel l/s	Dia Hei Wid Len	SM TOA Ref	L/m Reg Gau Mat	Shape Fit.1 Fit.2 Ups.Junc	Qty	Ups.Sh Coef Coef Coef	Loss	Fit	Sect1	Sect2	Cumul	Press
								Loss	Equip Add.L F.Tot Dynam	Dynam Fric Total	Vel.P Stat Total	Veloc Stat Total
T-100	1,121.0	CV	0.5	Rect		N/A			250	250	0.0	41.1
FAN	1,000.0	0	0.0	----					0.0	1.6	252	30.7
10.32	1,050.0	0		----					250	252	252	71.8
10,169	3.0	Galvanizado							250			
T-200	547.0	CV	0.8	Rect		Rect			0.0	10.3	16.1	25.0
T-100	500.0	0	5.9	----					10.3	1.6	247	35.0
8.04	500.0	0		----					0.0	11.9	263	60.0
1,884	2.0	Galvanizado							10.3			
T-300	398.0	CV	1.1	Rect		Rect			0.0	8.8	19.1	22.0
T-200	250.0	90	-5.8	----					8.8	5.6	259	23.6
7.54	550.0	0		----					0.0	14.4	278	45.6
942	5.3	Galvanizado							8.8			
T-400	398.0	CV	0.5	Rect		Rect			0.0	1.1	31.3	9.8
T-300	250.0	0	11.1	----					1.1	2.1	250	32.6
5.03	550.0	0		----					0.0	3.2	281	42.4
628	4.3	Galvanizado							1.1			
T-500	398.0	CV	0.1	Rect		Rect			0.0	1.4	38.7	2.4
T-400	250.0	0	5.9	----					1.4	0.6	244	37.9
2.51	550.0	0		----					0.0	2.0	283	40.3
314	4.3	Galvanizado							1.4			
T-600	398.0	CV	1.1	Rect		Rect			0.0	8.8	19.1	22.0
T-200	250.0	90	-5.8	----					8.8	5.6	259	23.6
7.54	550.0	0		----					0.0	14.4	278	45.6
942	5.3	Galvanizado							8.8			
T-700	398.0	CV	0.5	Rect		Rect			0.0	1.1	31.3	9.8
T-600	250.0	0	11.1	----					1.1	2.1	250	32.6
5.03	550.0	0		----					0.0	3.2	281	42.4
628	4.3	Galvanizado							1.1			
T-800	398.0	CV	0.1	Rect		Rect			0.0	1.4	38.7	2.4
T-700	250.0	0	5.9	----					1.4	0.6	244	37.9
2.51	550.0	0		----					0.0	2.0	283	40.3
314	4.3	Galvanizado							1.4			
Explanation of Values in Rightmost Five Columns Above												
Column	Description											
"Fit":	"Loss" = Static pressure loss through the indicated fitting.											
"Sect1":	"Equip" = User-entered loss through central equipment (supply main trunk only). "Add.L" = User entered additional static pressure loss. "F.Tot" = Total of all the fitting static pressure losses. For supply main trunk, also includes loss through central equipment and any loss carried from return system. "Dynam" = Total of all the dynamic losses, which includes everything but the frictional loss.											
"Sect2":	"Dynam" = Total of the dynamic losses, carried from bottom of previous column. "Fric" = Static pressure loss due to the inside surface roughness (friction). "Total" = Total of the dynamic and friction losses.											

Elaboración propia.

Tabla 9: Pérdidas de presión en conductos secundarios para IC-E.01.

<i>System 1 "IC-E.01" - Runout Output Data - Supply</i>											
Runout	Dia	SM	L/m	Shape	Ups.Sh	Fit	Sect1	Sect2	Cumul	Press	
Conn	Hei	TOA	Reg	Fit1	Qty	Coef	Loss	Diff.	Dynam	Vel.P	Veloc
Vel	Wid	Gau	Fit2	Fit2	Qty	Coef	Loss	Add.L	Fric	Stat	Stat
I/s	Len	Ref	Mat	Fit3	Qty	Coef	Loss	F.Tot	Total	Total	Total
	Orif	R.NC	Act.NC	Ups.Junc	Qty	Coef	Loss	Dynam			
D-01	1,094.0	CV	0.4	Rect				0.0	41.6	11.2	29.9
T-100	1,000.0	90	-30.4	---				41.6	0.3	282	0.0
8.80	1,000.0		0	---				0.0	41.9	294	29.9
8,285	0.8	Galvanizado		---				41.6			
	1,094.0	35	50		1						
	0										
D-02	602.0	CV	0.0	Rect				0.0	10.2	40.6	0.5
T-300	550.0	90	11.3	---				10.2	0.0	247	34.9
1.10	550.0		0	---				0.0	10.2	288	35.4
314	0.4	Galvanizado		---				10.2			
	402.00	35	40		1						
D-03	602.0	CV	0.0	Rect				0.0	7.7	40.6	0.5
T-400	550.0	0	1.6	---				7.7	0.0	248	34.2
1.10	550.0		0	---				0.0	7.7	289	34.7
314	0.4	Galvanizado		---				7.7			
	427.00	35	35		1						
D-04	602.0	CV	0.0	Rect				0.0	6.0	40.6	0.5
T-500	550.0	90	-4.0	---				6.0	0.0	248	33.9
1.10	550.0		0	---				0.0	6.0	289	34.3
314	0.4	Galvanizado		---				6.0			
	427.00	35	30		1						
D-05	602.0	CV	0.0	Rect				0.0	10.2	40.6	0.5
T-600	550.0	90	11.3	---				10.2	0.0	247	34.9
1.10	550.0		0	---				0.0	10.2	288	35.4
314	0.4	Galvanizado		---				10.2			
	402.00	35	40		1						
D-06	602.0	CV	0.0	Rect				0.0	7.7	40.6	0.5
T-700	550.0	90	1.6	---				7.7	0.0	248	34.2
1.10	550.0		0	---				0.0	7.7	289	34.7
314	0.4	Galvanizado		---				7.7			
	427.00	35	35		1						
D-07	602.0	CV	0.0	Rect				0.0	6.0	40.6	0.5
T-800	550.0	90	-4.0	---				6.0	0.0	248	33.9
1.10	550.0		0	---				0.0	6.0	289	34.3
314	0.4	Galvanizado		---				6.0			
	427.00	35	30		1						
Explanation of Values in Rightmost Five Columns Above											
Column	Description										
"Fit":	"Loss" = Static pressure loss through the indicated fitting.										
"Sect1":	"Dif" = User-entered static pressure loss due to the diffuser. "Add.L" = User entered additional static pressure loss. "F.Tot" = Total of all the fitting static pressure losses. "Dynam" = Total of all the dynamic losses, which includes everything but the frictional loss.										
"Sect2":	"Dynam" = Total of the dynamic losses, carried from bottom of previous column. "Fric" = Static pressure loss due to the inside surface roughness (friction). "Total" = Total of the dynamic and friction losses.										

Elaboración propia.



Tabla 10: Pérdidas de presión en conductos principales para IC-E.02.

<i>System 1 "IC-E.02" - Trunk Output Data - Supply</i>											
Trunk Upstr Vel I/s	Dia Hei Wid Len	SM TOA Ref	L/m Reg Gau Mat	Shape Fit.1 Fit.2 Ups.Junc	Qty	Ups.Sh Coef Coef Coef	Fit	Sect1	Sect2	Cumul	Press
							Loss	Equip Add.L F.Tot Dynam	Dynam Fric Total	Vel.P Stat Total	Veloc Stat Total
T-100	547.0	CV	0.3	Rect		N/A		250	250	0.0	9.8
FAN	500.0	0	0.0	----				0.0	1.7	252	22.0
5.05	500.0	0	0.0	----				250	252	252	31.8
1,182	5.0	Galvanizado						250			
T-200	398.0	CV	0.4	Rect		Rect		0.0	21.2	1.2	8.6
T-100	250.0	90	-20.0	----				21.2	2.3	274	-0.3
4.73	550.0	0	0.0	----				0.0	23.5	275	8.4
591	5.2	Galvanizado						21.2			
T-300	398.0	CV	0.2	Rect		Rect		0.0	0.4	6.0	3.8
T-200	250.0	0	4.4	----				0.4	0.9	271	3.2
3.15	550.0	0	0.0	----				0.0	1.3	276	7.0
394	4.3	Galvanizado						0.4			
T-400	398.0	CV	0.1	Rect		Rect		0.0	0.6	8.9	1.0
T-300	250.0	0	2.3	----				0.6	0.3	268	5.2
1.58	550.0	0	0.0	----				0.0	0.9	277	6.2
197	4.3	Galvanizado						0.6			
T-500	398.0	CV	0.4	Rect		Rect		0.0	21.2	1.2	8.6
T-100	250.0	90	-20.0	----				21.2	2.3	274	-0.3
4.73	550.0	0	0.0	----				0.0	23.5	275	8.4
591	5.2	Galvanizado						21.2			
T-600	398.0	CV	0.2	Rect		Rect		0.0	0.1	6.0	3.8
T-500	250.0	0	4.7	----				0.1	0.9	270	3.5
3.15	550.0	0	0.0	----				0.0	1.0	276	7.4
394	4.3	Galvanizado						0.1			
T-700	398.0	CV	0.1	Rect		Rect		0.0	0.6	8.9	1.0
T-600	250.0	0	2.3	----				0.6	0.3	268	5.5
1.58	550.0	0	0.0	----				0.0	0.9	277	6.5
197	4.3	Galvanizado						0.6			

Column	Description
"Fit":	"Loss" = Static pressure loss through the indicated fitting.
"Sect1":	"Equip" = User-entered loss through central equipment (supply main trunk only). "Add.L" = User entered additional static pressure loss. "F.Tot" = Total of all the fitting static pressure losses. For supply main trunk, also includes loss through central equipment and any loss carried from return system. "Dynam" = Total of all the dynamic losses, which includes everything but the frictional loss.
"Sect2":	"Dynam" = Total of the dynamic losses, carried from bottom of previous column. "Fric" = Static pressure loss due to the inside surface roughness (friction). "Total" = Total of the dynamic and friction losses.
"Cumul":	"Vel.P" = Cumulative loss in velocity pressure. Change in velocity pressure of this trunk when compared to that of the system's main trunk. "Stat" = Cumulative loss of static pressure. Change in static pressure of this trunk when compared to that of the system's main trunk. "Total" = Cumulative velocity pressure loss plus cumulative static pressure loss.
"Press":	"Veloc" = Velocity pressure. "Stat" = Static pressure available. For return, at entrance of duct. For supply, at exit. "Total" = Velocity pressure plus static pressure available.

Elaboración propia.

Tabla 11: Pérdidas de presión en conductos secundarios para IC-E.02.

<i>System 1 "IC-E.02" - Runout Output Data - Supply</i>												
Runout	Dia	SM	L/m	Shape	Ups.Sh	Fit	Sect1	Sect2	Cumul	Press		
Conn	Hei	TOA	Reg	Fit1	Qty	Loss	Diff.	Dynam	Vel.P	Veloc		
Vel	Wid		Gau	Fit2	Qty	Loss	Add.L	Fric	Stat	Stat		
I/s	Len	Ref	Mat	Fit3	Qty	Loss	F.Tot	Total	Total	Total		
	Orif	R.NC	Act.NC	Ups.Junc	Qty	Loss	Dynam					
D-01	602.0	CV	0.0	Rect		Rect		0.0	7.7	9.6	0.2	
T-200	550.0	90	0.8	----				7.7	0.0	273	0.5	
0.69	550.0		0	----				0.0	7.7	283	0.7	
197	0.4	Galvanizado		----				7.7				
	527.00	35	50		1							
D-02	602.0	CV	0.0	Rect		Rect		0.0	6.7	9.6	0.2	
T-300	550.0	90	-3.0	----				6.7	0.0	274	0.2	
0.69	550.0		0	----				0.0	6.7	283	0.4	
197	0.4	Galvanizado		----				6.7				
	602.00	35	35		1							
D-03	602.0	CV	0.0	Rect		Rect		0.0	6.0	9.6	0.2	
T-400	550.0	90	-5.2	----				6.0	0.0	274	0.0	
0.69	550.0		0	----				0.0	6.0	283	0.2	
197	0.4	Galvanizado		----				6.0				
	602.00	35	30		1							
D-04	602.0	CV	0.0	Rect		Rect		0.0	7.7	9.6	0.2	
T-500	550.0	90	0.8	----				7.7	0.0	273	0.5	
0.69	550.0		0	----				0.0	7.7	283	0.7	
197	0.4	Galvanizado		----				7.7				
	527.00	35	50		1							
D-05	602.0	CV	0.0	Rect		Rect		0.0	6.7	9.6	0.2	
T-600	550.0	90	-3.0	----				6.7	0.0	273	0.5	
0.69	550.0		0	----				0.0	6.7	283	0.7	
197	0.4	Galvanizado		----				6.7				
	527.00	35	35		1							
D-06	602.0	CV	0.0	Rect		Rect		0.0	6.0	9.6	0.2	
T-700	550.0	90	-5.2	----				6.0	0.0	273	0.3	
0.69	550.0		0	----				0.0	6.0	283	0.5	
197	0.4	Galvanizado		----				6.0				
	577.00	35	30		1							

Explanation of Values in Rightmost Five Columns Above	
Column	Description
"Fit":	"Loss" = Static pressure loss through the indicated fitting.
"Sect1":	"Dif" = User-entered static pressure loss due to the diffuser. "Add.L" = User entered additional static pressure loss. "F.Tot" = Total of all the fitting static pressure losses. "Dynam" = Total of all the dynamic losses, which includes everything but the frictional loss.
"Sect2":	"Dynam" = Total of the dynamic losses, carried from bottom of previous column. "Fric" = Static pressure loss due to the inside surface roughness (friction). "Total" = Total of the dynamic and friction losses.
"Cumul":	"Vel.P" = Cumulative loss in velocity pressure. Change in velocity pressure of this runout when compared to that of the system's main trunk. "Stat" = Cumulative loss of static pressure. Change in static pressure of this runout when compared to that of the system's main trunk. "Total" = Cumulative velocity pressure loss plus cumulative static pressure loss.
"Press":	"Veloc" = Velocity pressure. "Stat" = Static pressure available. For return, at entrance of duct. For supply, at exit. "Total" = Velocity pressure plus static pressure available.

Elaboración propia.

Tabla 12: Pérdidas de presión en conductos principales para IC-E.03.

<i>System 1 "IC-E.02" - Runout Output Data - Supply</i>												
Runout	Dia	SM	L/m	Shape	Ups.Sh	Fit	Sect1	Sect2	Cumul	Press		
Conn	Hei	TOA	Reg	Fit1	Qty	Loss	Diff.	Dynam	Vel.P	Veloc		
Vel	Wid	Gau	Fit2	Qty	Coef	Loss	Add.L	Fric	Stat	Stat		
l/s	Len	Ref	Mat	Fit3	Qty	Loss	F.Tot	Total	Total	Total		
	Orif	R.NC	Act.NC	Ups.Junc	Qty	Coef	Loss	Dynam				
D-01	602.0	CV	0.0	Rect		Rect		0.0	7.7	9.6	0.2	
T-200	550.0	90	0.8	----				7.7	0.0	273	0.5	
0.69	550.0		0	----				0.0	7.7	283	0.7	
197	0.4	Galvanizado		----				7.7				
	527.00	35	50		1							
D-02	602.0	CV	0.0	Rect		Rect		0.0	6.7	9.6	0.2	
T-300	550.0	90	-3.0	----				6.7	0.0	274	0.2	
0.69	550.0		0	----				0.0	6.7	283	0.4	
197	0.4	Galvanizado		----				6.7				
	602.00	35	35		1							
D-03	602.0	CV	0.0	Rect		Rect		0.0	6.0	9.6	0.2	
T-400	550.0	90	-5.2	----				6.0	0.0	274	0.0	
0.69	550.0		0	----				0.0	6.0	283	0.2	
197	0.4	Galvanizado		----				6.0				
	602.00	35	30		1							
D-04	602.0	CV	0.0	Rect		Rect		0.0	7.7	9.6	0.2	
T-500	550.0	90	0.8	----				7.7	0.0	273	0.5	
0.69	550.0		0	----				0.0	7.7	283	0.7	
197	0.4	Galvanizado		----				7.7				
	527.00	35	50		1							
D-05	602.0	CV	0.0	Rect		Rect		0.0	6.7	9.6	0.2	
T-600	550.0	90	-3.0	----				6.7	0.0	273	0.5	
0.69	550.0		0	----				0.0	6.7	283	0.7	
197	0.4	Galvanizado		----				6.7				
	527.00	35	35		1							
D-06	602.0	CV	0.0	Rect		Rect		0.0	6.0	9.6	0.2	
T-700	550.0	90	-5.2	----				6.0	0.0	273	0.3	
0.69	550.0		0	----				0.0	6.0	283	0.5	
197	0.4	Galvanizado		----				6.0				
	577.00	35	30		1							
Explanation of Values in Rightmost Five Columns Above												
Column	Description											
"Fit":	"Loss" = Static pressure loss through the indicated fitting.											
"Sect1":	"Dif" = User-entered static pressure loss due to the diffuser. "Add.L" = User entered additional static pressure loss. "F.Tot" = Total of all the fitting static pressure losses. "Dynam" = Total of all the dynamic losses, which includes everything but the frictional loss.											
"Sect2":	"Dynam" = Total of the dynamic losses, carried from bottom of previous column. "Fric" = Static pressure loss due to the inside surface roughness (friction). "Total" = Total of the dynamic and friction losses.											
"Cumul":	"Vel.P" = Cumulative loss in velocity pressure. Change in velocity pressure of this runout when compared to that of the system's main trunk. "Stat" = Cumulative loss of static pressure. Change in static pressure of this runout when compared to that of the system's main trunk. "Total" = Cumulative velocity pressure loss plus cumulative static pressure loss.											
"Press":	"Veloc" = Velocity pressure. "Stat" = Static pressure available. For return, at entrance of duct. For supply, at exit. "Total" = Velocity pressure plus static pressure available.											

Elaboración propia.

Tabla 13: Pérdidas de presión en conductos secundarios para IC-E.03.

<i>System 1 "IC-E.03" - Runout Output Data - Supply</i>											
Runout	Dia	SM	L/m	Shape	Ups.Sh	Fit	Sect1	Sect2	Cumul	Press	
Conn	Hei	TOA	Reg	Fit1	Qty	Coef	Loss	Diff.	Dynam	Vel.P	Veloc
Vel	Wid		Gau	Fit2	Qty	Coef	Loss	Add.L	Fric	Stat	Stat
I/s	Len	Ref	Mat	Fit3	Qty	Coef	Loss	F.Tot	Total	Total	Total
	Orif	R.NC	Act.NC	Ups.Junc	Qty	Coef	Loss	Dynam			
D-01	533.0	CV	0.2	Rect				0.0	20.8	23.3	4.7
T-100	600.0	90	2.5	----				20.8	0.1	259	0.0
3.50	400.0		0	----				0.0	20.9	282	4.7
781	0.4	Galvanizado 2		----				20.8			
	533.00	35	50		1						
D-02	533.0	CV	0.2	Rect				0.0	13.8	23.3	4.7
T-200	600.0	90	-6.1	----				13.8	0.1	255	4.0
3.50	400.0		0	----				0.0	13.9	278	8.7
781	0.4	Galvanizado 2		----				13.8			
	533.00	35	40		1						
D-03	533.0	CV	0.2	Rect				0.0	7.0	23.3	4.7
T-300	600.0	90	-8.6	----				7.0	0.1	250	8.5
3.50	400.0		0	----				0.0	7.1	274	13.2
781	0.4	Galvanizado 2		----				7.0			
	508.00	35	35		1						
Explanation of Values in Rightmost Five Columns Above											
Column	Description										
"Fit":	"Loss" = Static pressure loss through the indicated fitting.										
"Sect1":	"Dif" = User-entered static pressure loss due to the diffuser. "Add.L" = User entered additional static pressure loss. "F.Tot" = Total of all the fitting static pressure losses. "Dynam" = Total of all the dynamic losses, which includes everything but the frictional loss.										
"Sect2":	"Dynam" = Total of the dynamic losses, carried from bottom of previous column. "Fric" = Static pressure loss due to the inside surface roughness (friction). "Total" = Total of the dynamic and friction losses.										
"Cumul":	"Vel.P" = Cumulative loss in velocity pressure. Change in velocity pressure of this runout when compared to that of the system's main trunk. "Stat" = Cumulative loss of static pressure. Change in static pressure of this runout when compared to that of the system's main trunk. "Total" = Cumulative velocity pressure loss plus cumulative static pressure loss.										
"Press":	"Veloc" = Velocity pressure. "Stat" = Static pressure available. For return, at entrance of duct. For supply, at exit. "Total" = Velocity pressure plus static pressure available.										

Elaboración propia.



Tabla 14: Pérdidas de presión en conductos principales para EC-E.04.

<i>System 1 "EC-E.04" - Trunk Output Data - Return</i>											
Trunk Dnstr Vel l/s	Dia Hei Wid Len	SM TOA Ref	L/m Reg Gau Mat	Shape Fit.1 Fit.2 Ups.Junc	Qty	Ups.Sh Coef Coef Coef	Fit	Sect1	Sect2	Cumul	Press
							Loss	Equip Add.L F.Tot Dynam	Dynam Fric Total	Vel.P Stat Total	Veloc Stat Total
T-100	602.0	CV	1.6	Rect		N/A		0.0	66.0	0.0	58.9
FAN	550.0	0	0.0	----				66.0	9.4	75.4	-19.6
12.35	550.0		26	----				0.0	75.4	75.4	39.3
3,516	5.8	Galvanizado	3					66.0			
T-200	602.0	CV	0.8	Rect		Rect		0.0	58.4	32.7	26.2
T-100	550.0	0	-25.7	----				58.4	3.2	104	9.3
8.24	550.0		26	----				0.0	61.6	137	35.4
2,344	4.3	Galvanizado	3					58.4			
T-300	602.0	CV	0.2	Rect		Rect		0.0	1.1	52.4	6.5
T-200	550.0	0	18.5	----				1.1	0.9	86.6	-8.4
4.12	550.0		26	----				0.0	2.0	139	-1.8
1,172	4.3	Galvanizado	3					1.1			
Explanation of Values in Rightmost Five Columns Above											
Column	Description										
"Fit":	"Loss" = Static pressure loss through the indicated fitting.										
"Sect1":	"Equip" = User-entered loss through central equipment (supply main trunk only). "Add.L" = User entered additional static pressure loss. "F.Tot" = Total of all the fitting static pressure losses. For supply main trunk, also includes loss through central equipment and any loss carried from return system. "Dynam" = Total of all the dynamic losses, which includes everything but the frictional loss.										
"Sect2":	"Dynam" = Total of the dynamic losses, carried from bottom of previous column. "Fric" = Static pressure loss due to the inside surface roughness (friction). "Total" = Total of the dynamic and friction losses.										
"Cumul":	"Vel.P" = Cumulative loss in velocity pressure. Change in velocity pressure of this trunk when compared to that of the system's main trunk. "Stat" = Cumulative loss of static pressure. Change in static pressure of this trunk when compared to that of the system's main trunk. "Total" = Cumulative velocity pressure loss plus cumulative static pressure loss.										
"Press":	"Veloc" = Velocity pressure. "Stat" = Static pressure available. For return, at entrance of duct. For supply, at exit. "Total" = Velocity pressure plus static pressure available.										

Elaboración propia.



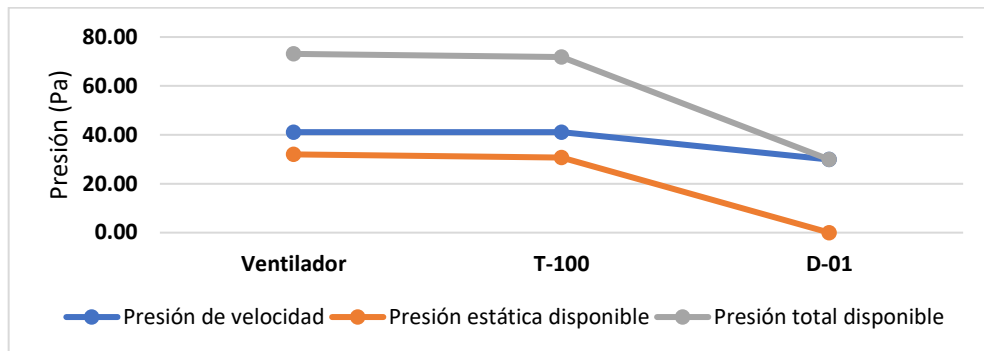
Tabla 15: Pérdidas de presión en conductos secundarios para EC-E.04.

<i>System 1 "EC-E.04" - Runout Output Data - Return</i>												
Runout	Dia	SM	L/m	Shape	Ups.Sh	Fit	Sect1	Sect2	Cumul	Press		
Conn	Hei	TOA	Reg	Fit1	Qty	Coef	Loss	Diff.	Dynam	Vel.P	Veloc	
Vel	Wid		Gau	Fit2	Qty	Coef	Loss	Add.L	Fric	Stat	Stat	
I/s	Len	Ref	Mat	Fit3	Qty	Coef	Loss	F.Tot	Total	Total	Total	
	Orif	R.NC	Act.NC	Ups.Junc	Qty	Coef	Loss	Dynam				
D-01	602.0	CV	0.2	Rect				0.0	6.0	52.4	6.5	
T-100	550.0	0	46.4	---				6.0	0.1	29.1	-65.9	
4.12	550.0		26	---				0.0	6.1	81.4	-59.4	
1,172	0.4	Galvanizado	3	---				6.0				
	427.00	35	50		1							
D-02	602.0	CV	0.2	Rect				0.0	10.3	52.4	6.5	
T-200	550.0	0	9.3	---				10.3	0.1	95.0	0.0	
4.12	550.0		26	---				0.0	10.4	147	6.5	
1,172	0.4	Galvanizado	3	---				10.3				
	602.00	35	45		1							
D-03	602.0	CV	0.2	Rect				0.0	6.0	52.4	6.5	
T-300	550.0	0	-6.0	---				6.0	0.1	92.7	-2.3	
4.12	550.0		26	---				0.0	6.1	145	4.2	
1,172	0.4	Galvanizado	3	---				6.0				
	602.00	35	45		1							
Explanation of Values in Rightmost Five Columns Above												
Column	Description											
"Fit":	"Loss" = Static pressure loss through the indicated fitting.											
"Sect1":	"Dif" = User-entered static pressure loss due to the diffuser. "Add.L" = User entered additional static pressure loss. "F.Tot" = Total of all the fitting static pressure losses. "Dynam" = Total of all the dynamic losses, which includes everything but the frictional loss.											
"Sect2":	"Dynam" = Total of the dynamic losses, carried from bottom of previous column. "Fric" = Static pressure loss due to the inside surface roughness (friction). "Total" = Total of the dynamic and friction losses.											
"Cumul":	"Vel.P" = Cumulative loss in velocity pressure. Change in velocity pressure of this runout when compared to that of the system's main trunk. "Stat" = Cumulative loss of static pressure. Change in static pressure of this runout when compared to that of the system's main trunk. "Total" = Cumulative velocity pressure loss plus cumulative static pressure loss.											
"Press":	"Veloc" = Velocity pressure. "Stat" = Static pressure available. For return, at entrance of duct. For supply, at exit. "Total" = Velocity pressure plus static pressure available.											

Elaboración propia.

3.9.1.7. Cambios de Presión a Través de la Ruta con Mayor Pérdida de Presión

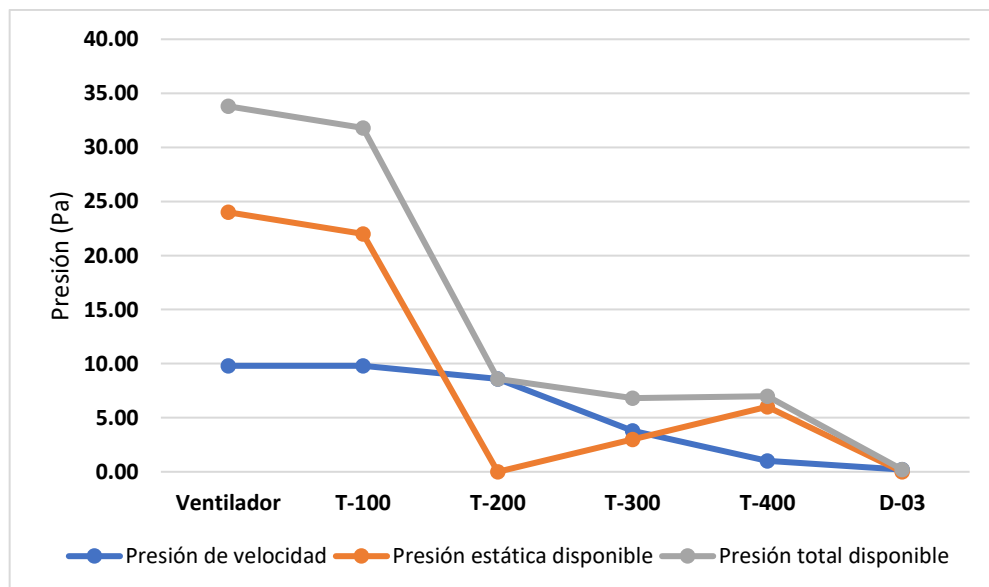
Estática



Nombre	Ventilador	T-100	D-01
Presión de velocidad	41.10	41.10	29.90
Presión estática disponible	32.00	30.70	0.00
Presión total disponible	73.10	71.80	29.90

Figura 28: Ruta crítica de caída de presión para IC-E.01.

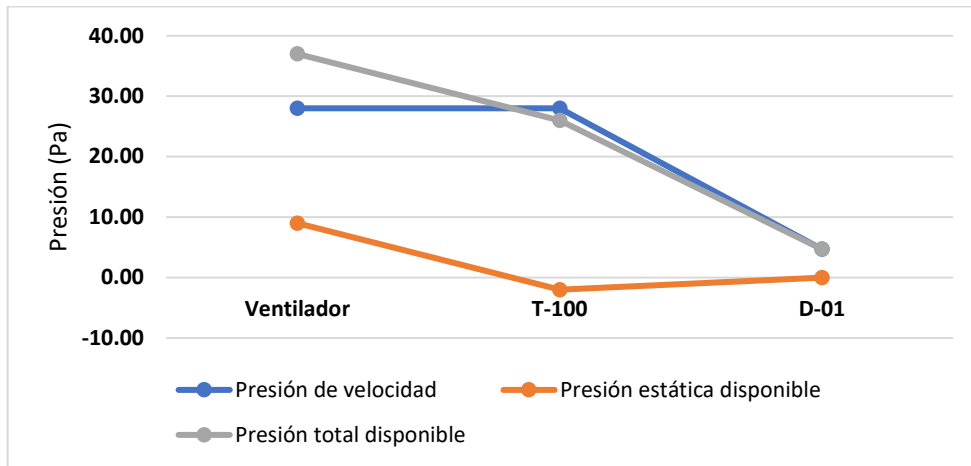
Elaboración propia.



Nombre	Ventilador	T-100	T-200	T-300	T-400	D-03
Presión de velocidad	9.80	9.80	8.60	3.80	1.00	0.20
Presión estática disponible	24.00	22.00	0.00	3.00	6.00	0.00
Presión total disponible	33.80	31.80	8.60	6.80	7.00	0.20

Figura 29: Ruta crítica de caída de presión para IC-E.02.

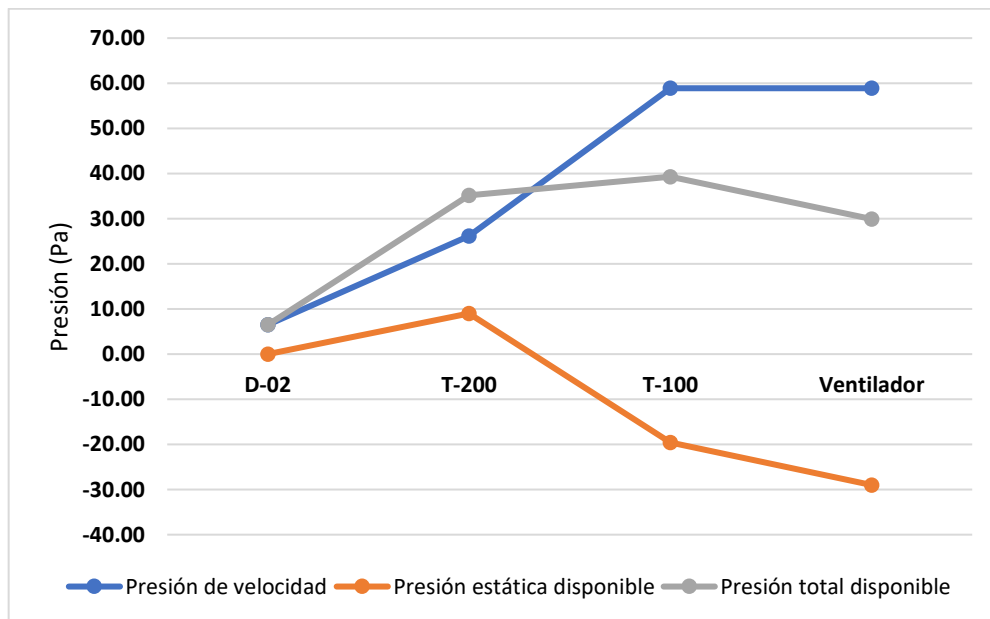
Elaboración propia.



Nombre	Ventilador	T-100	D-01
Presión de velocidad	28.00	28.00	4.70
Presión estática disponible	9.00	-2.00	0.00
Presión total disponible	37.00	26.00	4.70

Figura 30: Ruta crítica de caída de presión para IC-E.03.

Elaboración propia.



Nombre	D-02	T-200	T-100	Ventilador
Presión de velocidad	6.50	26.20	58.90	58.90
Presión estática disponible	0.00	9.00	-19.60	-29.00
Presión total disponible	6.50	35.20	39.30	29.90

Figura 31: Ruta crítica de caída de presión para EC-E.04.

Elaboración propia.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del Estudio

Con los valores de flujos volumétricos y las pérdidas de presiones totales, ya es posible determinar los equipos idóneos para la inyección y extracción de aire.

Los equipos definidos se pueden distribuir por sistemas, de la siguiente manera:

4.1.1. Sistema Tipo I

- Presurización de escaleras sin vestíbulos previos ventilados: el equipo de inyección de aire es IC-E.01.

4.1.2. Sistema Tipo II

- Presurización de escaleras con vestíbulos previos ventilados: el equipo de inyección de aire es IC-E.02.
- Ventilación de Vestíbulos Previos: el equipo de inyección de aire es IC-E.03 y el de extracción es EC-E.04.
- Según los cálculos anteriormente realizados, se procede definir las características selectivas de los equipos ventiladores de tipo centrífugo para inyección y extracción de aire:

INYECTOR CENTRÍFUGO “IC-E.01”

Punto requerido

Caudal	:10169 l/s
Presión total	: 324 Pa
Temperatura	: 11.80 °C
Altitud	: 3826 m
Densidad	: 0.77 Kg/m ³

Punto de trabajo



Caudal	: 10205 l/s
Presión estática	: 268 Pa @ 0.77 kg/m ³
Presión dinámica	: 59 Pa @ 0.77 kg/m ³
Presión total	: 326 Pa @ 0.77 kg/m ³
Presión estática estándar	: 418 Pa @ 1.2 kg/m ³
Presión dinámica estándar	: 92 Pa @ 1.2 kg/m ³
Presión total estándar	: 510 Pa @ 1.2 kg/m ³
Eficiencia	: 64
Velocidad descarga	: 12.3 m/s
Velocidad aspiración	: 12.3 m/s
Velocidad ventilador	: 475 rpm

Construcción

Tamaño ventilador	: 30/28
Peso	: 596.55 kg

Características del motor

Número de polos	: 4
Potencia del motor	: 10 Hp
Tensión	: 3-208-230/460V
Frecuencia	: 60Hz
Intensidad máxima absorbida	: 23.9 A / 12.0 A
Índice de protección	: IP54

INYECTOR CENTRÍFUGO “IC-E.02”

Punto requerido

Caudal	: 1182 l/s
Presión total	: 284 Pa



Temperatura	: 11.80 °C
Altitud	: 3826 m
Densidad	: 0.77 Kg / m ³
Punto de trabajo	
Caudal	: 1198 l/s
Presión estática	: 261 Pa @ 0.77 kg/m ³
Presión dinámica	: 30.7 Pa @ 0.77kg/m ³
Presión total	: 292 Pa @ 0.77 kg/m ³
Presión estática estándar	: 408 Pa @ 1.2 kg/m ³
Presión dinámica estándar	: 47.9 Pa @ 1.2 kg/m ³
Presión total estándar	: 456 Pa @ 1.2 kg/m ³
Eficiencia	: 62
Velocidad descarga	: 8.9 m/s
Velocidad aspiración	: 8.9 m/s
Velocidad ventilador	: 1125 rpm
Construcción	
Tamaño ventilador	: 12/12
Peso	: 125.64 kg
Características del motor	
Número de Polos	: 4
Potencia del motor	: 1 Hp
Tensión	: 3-208-230/460V
Frecuencia	: 60Hz
Intensidad máxima absorbida	: 3.0 A / 1.5 A
Índice de protección	: IP54



INYECTOR CENTRÍFUGO “IC-E.03”

Punto requerido

Caudal	: 2343 l/s
Presión Estática	: 287 Pa
Temperatura	: 11.80 °C
Altitud	: 3826 m
Densidad	: 0.77 Kg / m ³

Punto de trabajo

Caudal	: 2309 l/s
Presión estática	: 279 Pa @ 0.77 kg/m ³
Presión dinámica	: 27.5 Pa @ 0.77kg/m ³
Presión total	: 306 Pa @ 0.77 kg/m ³
Presión estática estándar	: 435 Pa @ 1.2 kg/m ³
Presión dinámica estándar	: 42.9 Pa @ 1.2 kg/m ³
Presión total estándar	: 478 Pa @ 1.2 kg/m ³
Eficiencia	: 55
Velocidad descarga	: 8.4 m/s
Velocidad aspiración	: 8.4 m/s
Velocidad ventilador	: 800 rpm

Construcción

Tamaño ventilador	: 18/18
Peso	: 195.00 kg

Características del motor

Número de Polos	: 4
Potencia del motor	: 2 Hp



Tensión	: 3-208-230/460V
Frecuencia	: 60Hz
Intensidad máxima absorbida	: 29.0 A
Índice de protección	: IP55

EXTRACTOR CENTRÍFUGO “EC-E.04”

Punto requerido

Caudal	: 3516 l/s
Presión total	: 154 Pa
Temperatura	: 11.80 °C
Altitud	: 3826 m
Densidad	: 0.77 Kg / m ³

Punto de trabajo

Caudal	: 3441 l/s
Presión estática	: 86 Pa @ 0.77 kg/m ³
Presión dinámica	: 61 Pa @ 0.77 kg/m ³
Presión total	: 147 Pa @ 0.77 kg/m ³
Presión estática estándar	: 135 Pa @ 1.2 kg/m ³
Presión dinámica estándar	: 95 Pa @ 1.2 kg/m ³
Presión total estándar	: 230 Pa @ 1.2 kg/m ³
Eficiencia	: 41
Velocidad descarga	: 12.6 m/s
Velocidad aspiración	: 12.6 m/s
Velocidad ventilador	: 625 rpm

Construcción

Tamaño ventilador	: 18/18
-------------------	---------



Peso : 195.00 kg

Características del motor

Número de Polos : 4

Potencia del motor : 2 Hp

Tensión : 3-208-230/460V

Frecuencia : 60Hz

Intensidad máxima absorbida : 29.0 A

Índice de protección : IP55

4.1.3. Evaluación Económica

En la construcción del Hospital Materno Infantil de la ciudad de Juliaca, se proyecta construir cuatro escaleras de emergencia, las cuales, se distribuyen de la siguiente manera:

Bloques B1 y B15 : Sistema tipo I

Bloques B4 y B5 : Sistema tipo II

El costo total de la instalación de los sistemas asciende a la suma de QUINIENTOS VEINTIOCHO MIL QUINIENTOS OCHENTIOCHO Y 06/100 SOLES, con I.G.V. incluido. En la tabla 16, se presenta el metrado de los equipos de ventilación, la instalación de conductos, rejillas y accesorios, que son necesarios para poner en funcionamiento los sistemas planteados. Además, se adjuntan sus respectivos costos unitarios de instalación.

Otro aspecto que se aborda, es el costo de mano de obra calificada que requiere la instalación de los sistemas de tipos I y II.

Tabla 16: Metrado general y presupuesto de instalación de los cuatro sistemas de presurización planteados.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND.	METRADO	PRECIO UNT. (S/.)	PARCIAL (S/.)
01.00.00.00 INSTALACIONES MECÁNICAS					
01.01.00.00 SISTEMAS DE PRESURIZACIÓN DE ESCALERAS DE EMERGENCIA					
01.01.01.00 EQUIPOS CENTRÍFUGOS					
01.01.01.01	Inyector Centrífugo IC-E.01, 10205 l/s	und	2.00	71,815.00	143,630.00
01.01.01.02	Inyector Centrífugo IC-E.02, 1198 l/s	und	2.00	24,673.00	49,346.00
01.01.01.03	Inyector Centrífugo IC-E.03, 2309 l/s	und	2.00	11,393.00	22,786.00
01.01.01.04	Extractor Centrífugo EC-E.04, 3441 l/s	und	2.00	13,291.00	26,582.00
SUBTOTAL					242,344.00
01.01.02.00 CONDUCTOS, REJILLAS Y ACCESORIOS					
01.01.02.01	Rejilla de inyección fabricada de F°G°. Incl. Dámper cortafuego	cm ²	64,250.00	0.20	12,850.00
01.01.02.02	Rejilla de extracción fabricada de F°G°. Incl. Dámper cortafuego	cm ²	18,150.00	0.20	3,630.00
01.01.02.03	Suministro e instalación de conductos de F°G°	Kg	1,801.48	50.97	91,821.25
SUBTOTAL					108,301.25
01.01.03.00 OTROS					
01.01.03.01	Cabinete eléctrico, llaves termomagnéticas, variadores de frecuencia	und	8.00	9,407.42	75,259.36
01.01.03.02	Dámper barométrico	kit	4.00	13,341.18	53,364.73
01.01.03.03	Instalación y montaje de ventiladores tableros eléctricos, dámpers, y accesorios	und	8.00	6,164.84	49,318.72
SUBTOTAL					177,942.81
TOTAL					528,588.06

Elaboración propia.

4.2. Discusión de los Resultados

A partir de los resultados encontrados, que se resumen en las tablas 17 y 19, aceptamos la hipótesis alternativa general, que establece que, la presurización de una escalera de emergencia se logra por la inyección mecánica de flujos volumétricos de aire, en la construcción del Hospital Materno Infantil de Juliaca. También se valida la primera hipótesis específica definida como: un adecuado flujo volumétrico de inyección de aire permite presurizar positivamente una escalera de emergencia sin vestíbulos previos ventilados. En la tabla 17, se muestra el resumen los resultados de caudal de aire para la presurización de sistemas de tipo I.

Tabla 17: Resultado de caudal de aire para la presurización de sistemas de tipo I.

SISTEMA	ALTURA DE CAJA DE ESC.	TEMP. EXTERIOR	TEMP. INTERIOR	CAUDAL	PRESIÓN MÍNIMA
TIPO I	14.05 m	19.5 °C (292.7 °K)	21.5 °C (294.7 °K)	10169 l/s	12.45 Pa

Elaboración propia.

Los resultados guardan relación con el estudio de Calderón Rivera (2018), que señala que, los cálculos se realizan para poder seleccionar con el caudal del aire el equipo electromecánico, que tendrá como función llenar de aire la caja de escalera obteniendo una presión positiva, evitando así el ingreso de humos contaminantes. Concluye en los resultados que muestra la tabla 18:

Tabla 18: Resultados de cálculo de caudal de aire, según Calderón R., M. A. (2018).

ALTURA DE CAJA DE ESC.	TEMPERATURA EXTERIOR	TEMPERATURA INTERIOR	CAUDAL	PRESIÓN MÍNIMA
46.2 m (151.57 ft)	30.2 °C (546 °R)	35.2 °C (555 °R)	8106.20 l/s (17176 CFM)	12.45 Pa (0.05 in.w.g)

Fuente: *Diseño de Presurización de Escaleras Para la Evacuación Ante el Suceso de Un Incendio en el Edificio de Comercio - Chorrillos* (p.43-51), por Calderón Rivera, M. A., 2018.

De los resultados obtenidos por Calderón Rivera (2018), se puede observar que el valor de flujo volumétrico de aire para la presurización de un sistema de tipo I, es menor al caudal de aire obtenido en la presente tesis, a pesar de la gran diferencia de alturas que existe entre las cajas de escaleras, esto es por la influencia de las características constructivas y las condiciones climatológicas de cada zona.

La segunda hipótesis específica, definida como: un adecuado flujo volumétrico de inyección de aire permite presurizar positivamente una escalera de emergencia con vestíbulos previos ventilados, se valida con la obtención del flujo volumétrico de aire para la presurización de sistemas de tipo II (ver tabla 19).

Tabla 19: Resultado de caudal de aire para la presurización de sistemas de tipo II.

SISTEMA	ALTURA DE LA ESCALERA	TEMPERATURA EXTERIOR	TEMPERATURA INTERIOR	CAUDAL	PRESIÓN MÍNIMA
TIPO II	14.05 m	19.5 °C (292.7 °K)	21.5 °C (294.7 °K)	1182 l/s	24.91 Pa

Elaboración propia.

Con respecto a la tercera hipótesis específica: la aplicación de un correcto flujo volumétrico de suministro de aire permite generar un cambio de aire por minuto en cada vestíbulo previo ventilado. Se corrobora con la obtención del caudal de suministro de aire en cada vestíbulo ventilado de 781 l/s (ver tabla 20).

Tabla 20: Resultados de caudal de aire para inyección de aire en vestíbulos.

UTILIDAD	VOLUMEN DE VESTÍBULO	TEMPERATURA EXTERIOR	TEMPERATURA INTERIOR	CAUDAL
Inyección	46.88 m ³	19.5 °C (292.7 °K)	21.5 °C (294.7 °K)	781 l/s

Elaboración propia.

La cuarta hipótesis específica: la extracción de flujo volumétrico de aire es el 150% de aire que se suministra en cada vestíbulo previo ventilado. Es validada por el caudal de extracción de aire desde cada vestíbulo ventilado de 1172 l/s, tal como se puede

apreciar en la tabla 21.

Tabla 21: Resultados de caudal de aire para extracción de aire en vestíbulos.

UTILIDAD	VOLUMEN DE VESTÍBULO	TEMPERATURA EXTERIOR	TEMPERATURA INTERIOR	CAUDAL
Extracción	46.88 m ³	19.5 °C (292.7 °K)	21.5 °C (294.7 °K)	1172 l/s

Elaboración propia.

Las hipótesis, segunda, tercera y cuarta, guardan estrecha relación con Cruz Ojeda (2017), quien en su estudio menciona que, los criterios de diseño presentados en su 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. El autor analiza un diseño de un sistema de presurización con vestíbulos previos ventilados de un edificio de 11 pisos, cuyos resultados de cálculo de caudal de aire se pueden ver en la tabla 22.

Tabla 22: Resultado de caudales de aire para presurización de una caja de escaleras y vestíbulos ventilados, según el trabajo de Cruz Ojeda (2017).

ALTURA DE LA ESCALERA	TEMPERATURA EXTERIOR	TEMPERATURA INTERIOR	CAUDAL	PRESIÓN MÍNIMA
27.50 m	18 °C (291.2 °K)	20° C (293.2 °K)	1245.94 l/s (2640 CFM)	24.91 Pa

UTILIDAD	VOLUMEN DE VESTÍBULO	TEMP. EXT.	TEMP. INT.	CAUDAL
Inyección	17.73 m ³	18 °C (291.2 °K)	20° C (293.2 °K)	198.22 l/s (420 CFM)
Extracción	17.73 m ³	18 °C (291.2 °K)	20° C (293.2 °K)	297.33 l/s (630 CFM)

Fuente: *Diseño de un sistema de inyección de aire para presurización de escaleras de emergencia de un edificio residencial de once pisos. Universidad Católica Santo*

Toribio de Mogrovejo (p.97-99), por Cruz Ojeda, L. A. R., 2017.

Los valores obtenidos por Cruz Ojeda (2017), en la tabla 22, muestra que para lograr una presión mínima 24.91 Pa en la caja de escaleras, es necesario el suministro de

1245.94 l/s. Además, se puede observar que el caudal de extracción (297.33 l/s) es el 150% del valor de inyección (198.22 l/s) de aire en cada vestíbulo ventilado. Dichas afirmaciones comprueban los procedimientos realizados en el presente trabajo de investigación con respecto a los cálculos efectuados para los sistemas de tipo II.

Se define la quinta hipótesis específica como, la apropiada selección de los equipos de ventilación permite la óptima presurización de una escalera de emergencia y la ventilación de los vestíbulos. La tabla 23, muestra tales equipos de ventilación:

Tabla 23: Equipos de Ventilación para sistemas de tipo I y II.

SISTEMA	UTILIZACIÓN	CAUDAL	PRESIÓN TOTAL
Tipo I	Inyector para presurización de escalera	10169 l/s	324 Pa
	Inyector para presurización de escalera	1182 l/s	284 Pa
Tipo II	Inyector para ventilación de vestíbulo	2343 l/s	287 Pa
	Extractor para ventilación de vestíbulo	3516 l/s	154 Pa

Elaboración propia.

La quinta hipótesis específica guarda concordancia con el trabajo de Vargas Cortez (2006). Dicho autor indica que, para la selección del equipo idóneo, los parámetros más importantes para la selección de equipos ventiladores son, el caudal de aire y la presión total en la salida del ventilador, que es producto de todas las caídas o pérdidas de presión generado por el sistema (ductos, rejillas, etc), para poder mantener un caudal requerido. Pues, para la presurización de una caja de escaleras con una altura total de 53.10 m, con temperaturas externa e interna de 22 °C y 16 °C respectivamente, con el objetivo de lograr una presurización mínima de 12.45 Pa (0.05 in.w.g), para ello, el autor en mención, establece los parámetros de selección del equipo capaz de suministrar la cantidad de aire necesario para vencer una presión de 553 Pa, tal como se puede ver en la tabla 24.



Tabla 24: Parámetros de selección del equipo de presurización de escaleras, según el estudio de Vargas Cortez (2006).

UTILIZACIÓN	CAUDAL	PRESIÓN
Inyector para presurización de escalera	9789 l/s (20741 CFM)	553 Pa (2.22 in.w.g)

Fuente: *Diseño del Sistema de Presurización y Control Para la Escalera de Escape del C.C. Camino Real. Universidad Nacional de Ingeniería* (p.125), por Vargas Cortez, N. A. (2006).

Comparando el trabajo de Vargas Cortez (2006) y el presente trabajo de investigación, se afirma que, para la selección de un adecuado equipo de ventilación son necesarios determinar los parámetros de caudal de aire y la presión que deberá vencer el ventilador.

V. CONCLUSIONES

PRIMERO: Se diseñó un sistema de escaleras presurizadas de emergencia inyectando mecánicamente el aire desde el medio ambiente hacia el interior de las cajas de escaleras, la cual genera una presión positiva en el interior de la zona protegida, evitando en todo momento el ingreso de aire contaminado. Para lograrlo, en una escalera sin vestíbulos previos ventilados, se requiere la instalación de un inyector de aire con una capacidad de suministro de 10169 l/s para conseguir una presurización mínima de 12.45 Pa en la caja de escaleras. Para conseguir una presión mínima de 24.91 Pa en el área de escaleras de emergencia en un sistema con vestíbulos previos ventilados, se necesita de la instalación de un ventilador con una capacidad de impulsión de aire de 1182 l/s.

SEGUNDO: Se determinó que el flujo volumétrico efectivo de inyección de aire en una escalera de emergencia sin vestíbulos previos ventilados es 10169 l/s, para conseguir una presurización mínima 12.45 Pa en una caja de escaleras con una altura total de 14.05 m, con temperaturas externa e interna de 19.5 °C y 21.5 °C respectivamente.

TERCERO: Se concluyó que el flujo volumétrico de inyección de aire de 1182 l/s, será suficiente para lograr una presurización mínima de 24.91 Pa, cuando una escalera de emergencia si cuente con vestíbulos previos ventilados, conservando las mismas características constructivas y ambientales de diseño que guardan entre sí todas las escaleras de emergencia analizadas.

CUARTO: En cada uno de los vestíbulos ventilados previos a las escaleras de emergencia con volúmenes de 46.88 m³, el suministro del flujo volumétrico de aire de 781 l/s, será suficiente para generar un cambio de aire por minuto.

QUINTO: El caudal de aire extraído desde cada vestíbulo ventilado, cuyo valor es 1172 l/s, resulta ser el 150% del aire suministrado del medio ambiente, que es 781 l/s.

SEXTO: Se afirma que, para los sistemas que no cuenten con vestíbulos previos



ventilados, se deberá instalar inyectores con una capacidad de manejo de aire de 10169 l/s y con una presión de impulsión de 324 Pa para la presurización de la caja de escaleras. Cuando el sistema sí cuente con vestíbulos ventilados, se deberá instalar un inyector centrífugo de 1182 l/s y 284 Pa para presurizar el área de escaleras de emergencia. Para la ventilación simultanea de vestíbulos, se requiere de un inyector centrífugo de 2343 l/s, con una presión de impulsión de aire de 287 Pa, además, un extractor centrífugo de 3516 l/s con capacidad de presión de 154 Pa.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERO: Los cálculos de presurización, dimensionamiento de conductos y selección de equipos deben realizarse en la estación de verano, ya que, cuando la temperatura es la más alta, la densidad del aire es mínima y eso demanda mayor manejo de flujo volumétrico de aire. A esto se le denomina, condición crítica de diseño. Todos los procedimientos de diseño deben cumplir las recomendaciones de la NTP A.010 y NFPA 92A.

SEGUNDO: Debe haber una coordinación continua entre el área de instalaciones mecánica y arquitectura. Principalmente para la habilitación de ductos en techos y muros que sean lo suficientemente amplios y necesarios para la instalación de conductos de ventilación. Este aspecto se menciona, pues en este estudio, el área de arquitectura no dejó espacio suficiente para el paso de los conductos metálicos rectangulares para la red de inyección de aire hacia las escaleras de emergencia sin vestíbulos previos ventilados, razón por la que se tuvo que hacer una abertura bastante grande en el techo de la caja de escaleras para el pase de un conducto metálico cuadrado de 1000x1000mm. Todo esto ocasiona un elevado costo en algunos accesorios, ya que sus medidas no son estándares y requieren de una construcción especial.

TERCERO: Se debe tener en cuenta que, para la presurización de las escaleras de emergencia con vestíbulos previos ventilados, el flujo volumétrico es inferior con respecto a las escaleras que no cuentan con vestíbulos ventilados, razón por la que, las dimensiones de los conductos deben ser más reducidos y con recorridos de tramos más simples.

CUARTO: Los bordes inferiores de las rejillas de descarga de aire en cada vestíbulo ventilado, siempre estarán ubicadas a 0.15 m respecto al nivel de piso terminado. La razón de la ubicación de la rejilla en la parte baja de la pared del vestíbulo,



es para facilitar el recorrido del aire de forma cruzada a través del ambiente ventilado.

QUINTO: Los bordes superiores de las rejillas de extracción de aire de cada vestíbulo ventilado, siempre estarán ubicadas a 0.15 m respecto al nivel de techo terminado. La justificación de este criterio de diseño se basa en el efecto chimenea, ya que normalmente el humo (o aire caliente) tiende a subir hacia la parte más alta de cada ambiente, ejerciendo una presión adicional por acción de la altura del local. Dicha presión es favorable para el extractor centrífugo, pues aminora el trabajo del equipo de extracción.

SEXTO: Se deberá implementar bases anti vibratorias de concreto para cada uno de los equipos de ventilación, ya que presentan pesos y dimensiones considerables. Además, se deberá filtrar el aire que ingresa en cada inyector de aire, ya que no puede ingresar aire contaminada a las cajas de escaleras.



VII. REFERENCIAS

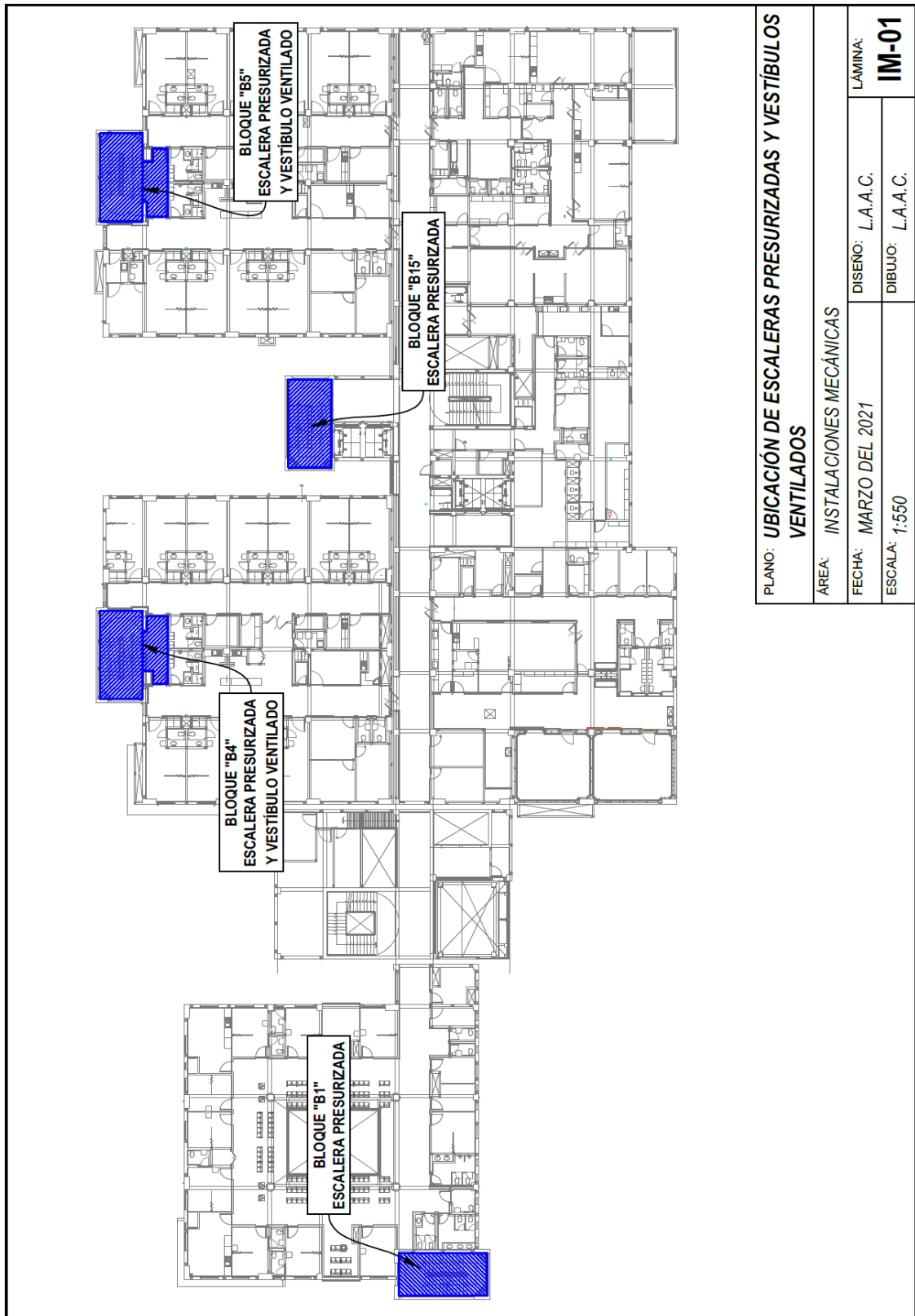
- Anero Cárcamo, M. (2007). *Técnicas de Investigación de Incendios. Incendios de Origen Eléctrico*. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de la Investigación, Introducción a la Metodología Científica* (6ta ed.). Universidad Católica Andrés Bello.
- Bellido, C., Quiroz, A., Panizo, A., & Torero, J. L. (2009). Performance Assessment of Pressurized Stairs in High Rise Buildings. *Fire Technology*.
- Bonilla Martinez, M. A., & Velarde Velásquez, P. del R. (2008). *Protección Contra Incendios en Vías de Evacuación Mediante Presurización en Edificios y Locales Públicos en la Ciudad de Quito*. Escuela Politécnica Nacional.
- Botta, N. A. (2011). Movimiento y Control de Humo. *Red Proteger*.
- Calderón Rivera, M. A. (2018). *Diseño de Presurización de Escaleras Para la Evacuación Ante el Suceso de Un Incendio en el Edificio de Comercio - Chorrillos*. Universidad Tecnológica del Sur.
- Carcamo Diaz, X. A. (2012). *Sistemas Para el Control de Humo en Edificios de Hormigón Armado. CSO Edificio Instituto de Obras Civiles Universidad Austral De Chile*. Universidad Austral de Chile.
- Carrier Air Conditioning Co. (2009). *Manual de Aire Acondicionado* (MARCOMBO S.A (ed.); 2da ed.). Mc GRAW-HILL.
- Colomé, D. G., & Femenia, P. E. (2018). *Metodología de Investigación Para Estudiantes de Posgrado en Ingeniería*. Universidad Nacional de San Juan.
- Cruz Ojeda, L. A. R. (2017). *Diseño de un Sistema de Inyección de Aire para Presurización de Escaleras de Emergencia de un Edificio Residencial de Once Pisos*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Echeverri Londoño, C. A. (2011). *Ventilación Industrial* (1er ed.). Universidad de



Medellín.

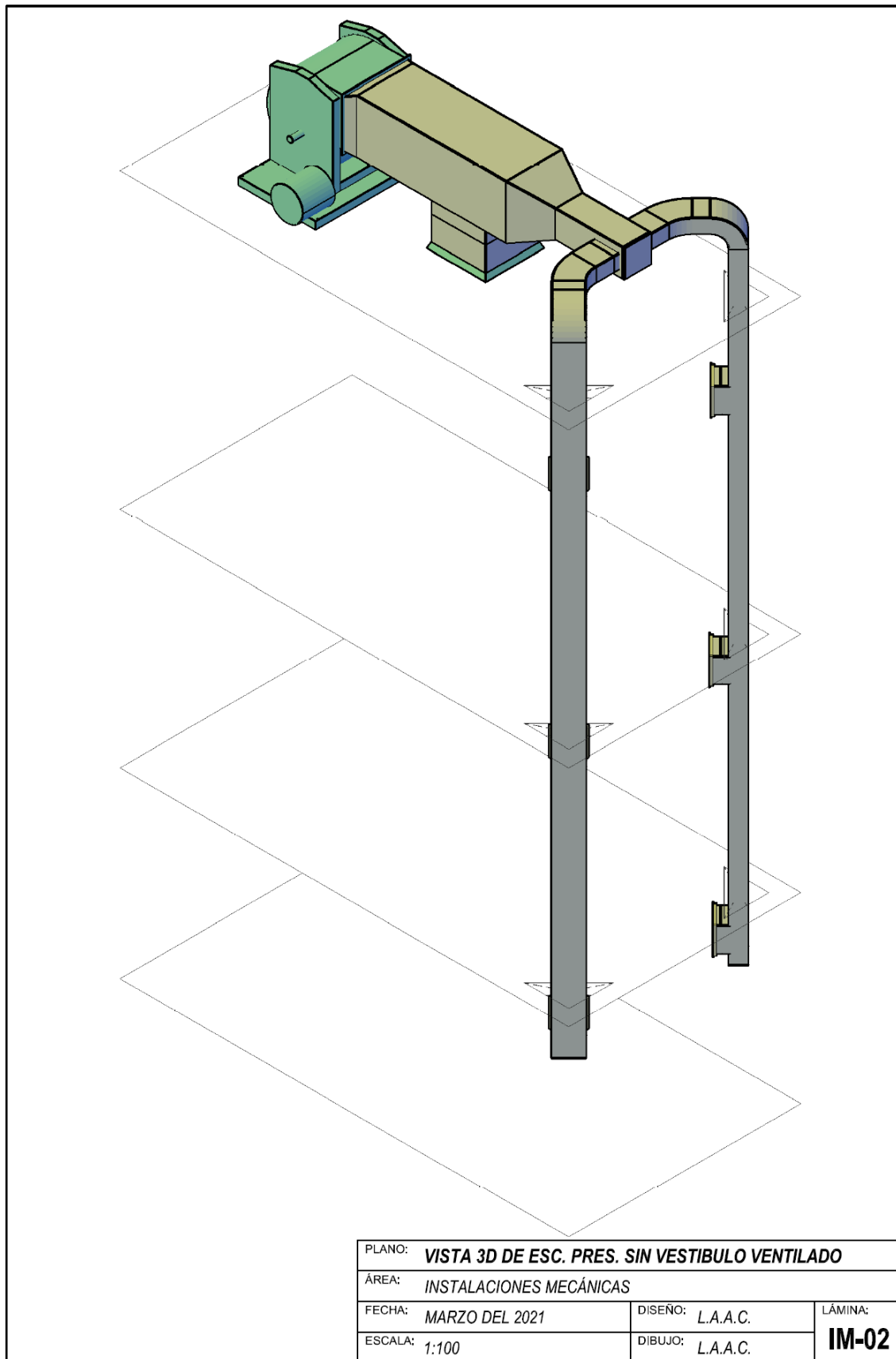
- Kim, J. Y., Lee, S. G., & Jeon, S. W. (2017). Field Experiment of the Measures to Control the Stack Effect in Stairwell of Building. *World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering*.
- Klote, J. H. (2016). Smoke Control in Buildings. *ICB Journal*.
- Klote, J. H., Milke, J. A., Turnbull, P. G., Kashef, A., & Ferreira, M. J. (2012). *Handbook of Smoke Control Engineering*. ASHRAE.
- McDowall, R. (2008). *Fundamentals of Air System Design*. ASHRAE.
- National Fire Protection Association 92A. (2018). *Standard for Smoke Control Systems*. NFPA 92A.
- Panindre, P., Mousavi, N. S. S., Kumar, S., & Ceriello, J. (2018). Positive Pressurization and Ventilation for Fighting Fires in High-Rise Structures with Multiple Stairwells. *3rd European Symposium on Fire Safety Science*.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). (2014). Norma Técnica A.010. *Diario Oficial El Peruano*.
- Simmonds, P., & Zhu, R. (2013). Stack Effect Guidelines for Tall, Mega Tall and Super Tall Buildings. *CTBUH Research Paper*, 323–330.
- Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, R. y A. A. (2009). *ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI)*. ASHRAE.
- Soler&Palau. (2012). *Manual Práctico de Ventilación*. Sole&Palau Ventilation Group.
- Vargas Cortez, N. A. (2006). *Diseño Del Sistema de Presurización y Control Para la Escalera de Escape del C.C. Camino Real*. Universidad Nacional de Ingeniería.

PLANOS



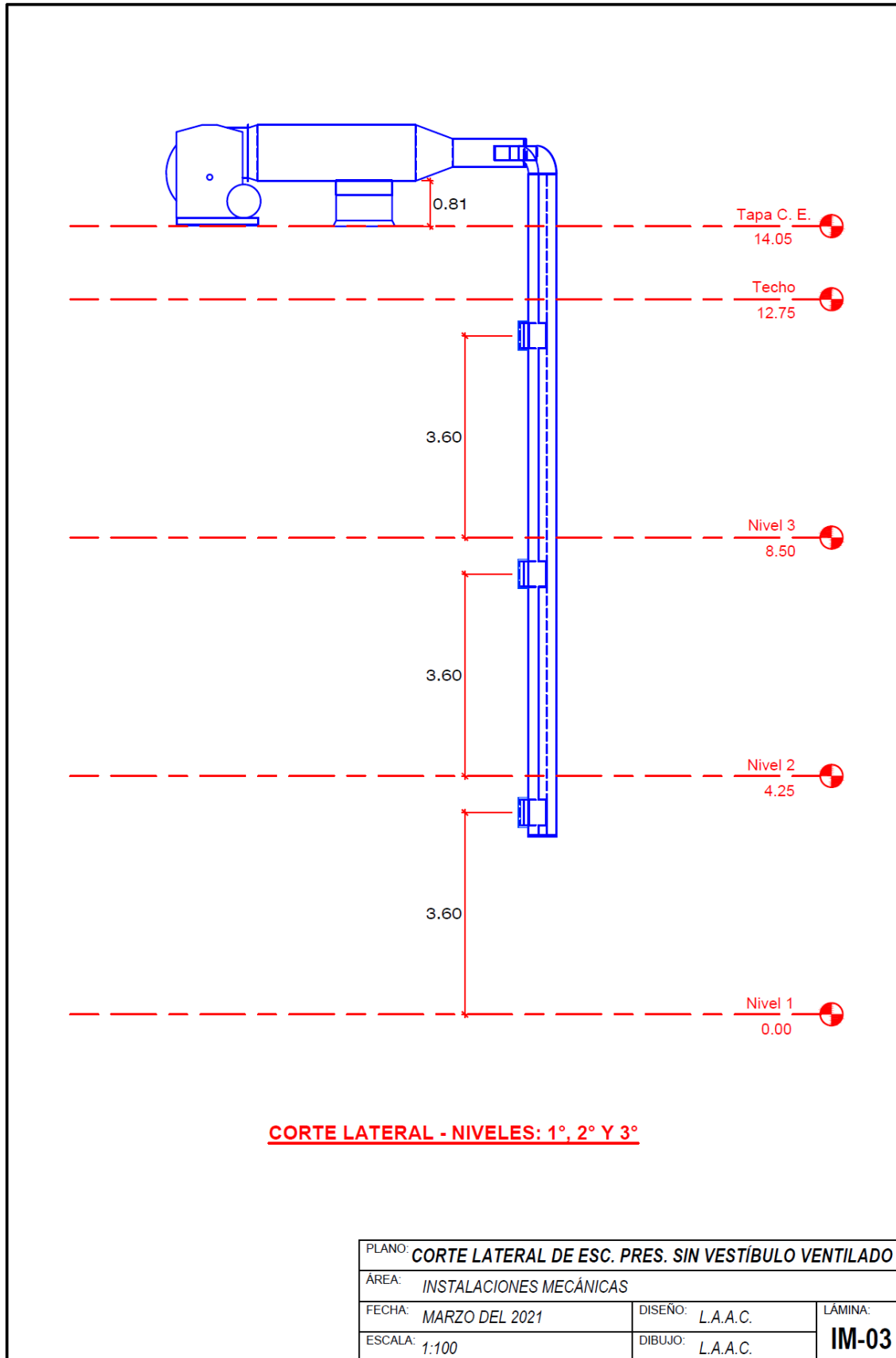
Plano 1: Ubicación de escaleras presurizadas y vestíbulos ventilados.

Elaboración propia.



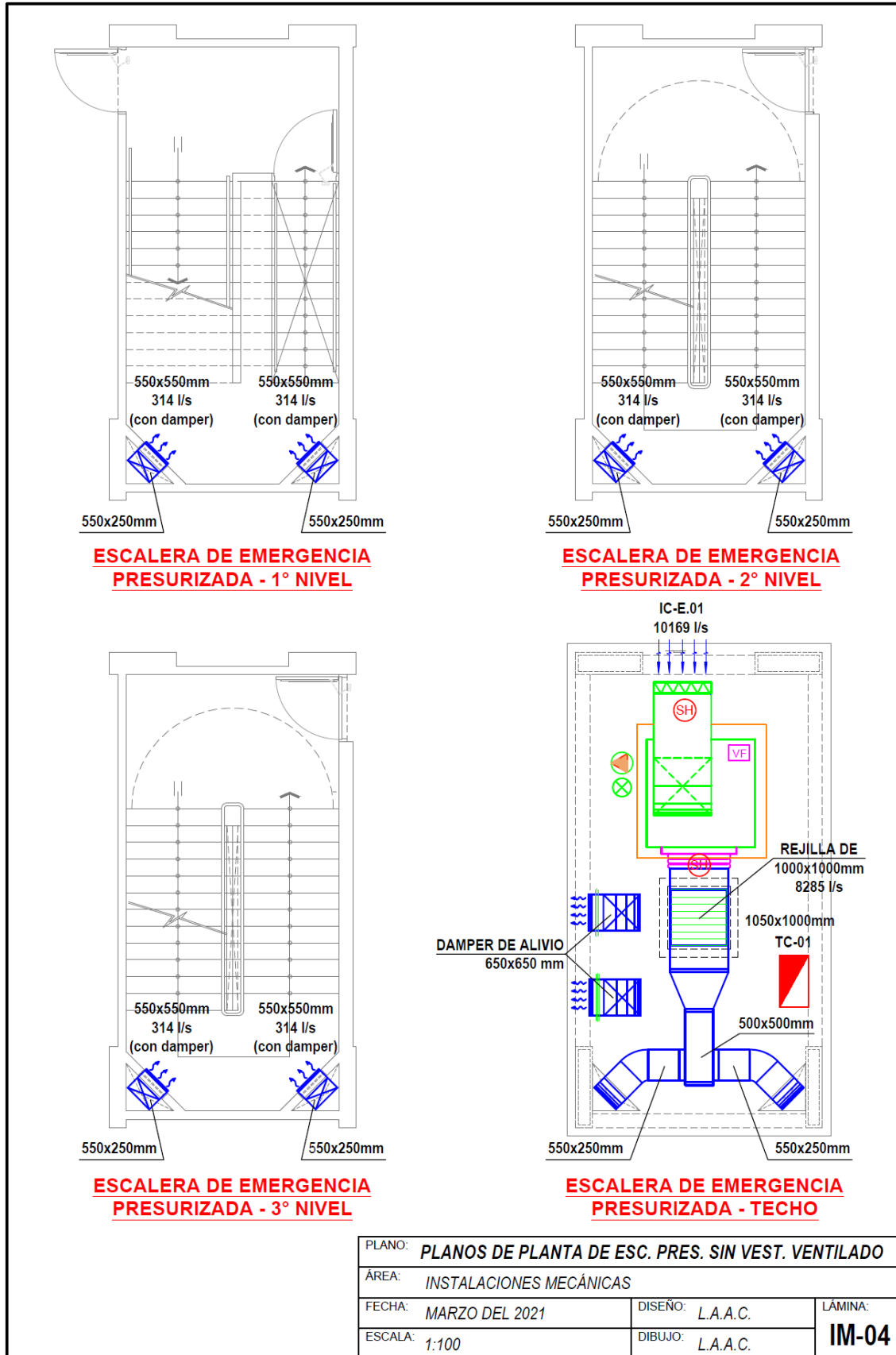
Plano 2: Vista 3D de escaleras presurizadas sin vestíbulo ventilado.

Elaboración propia.



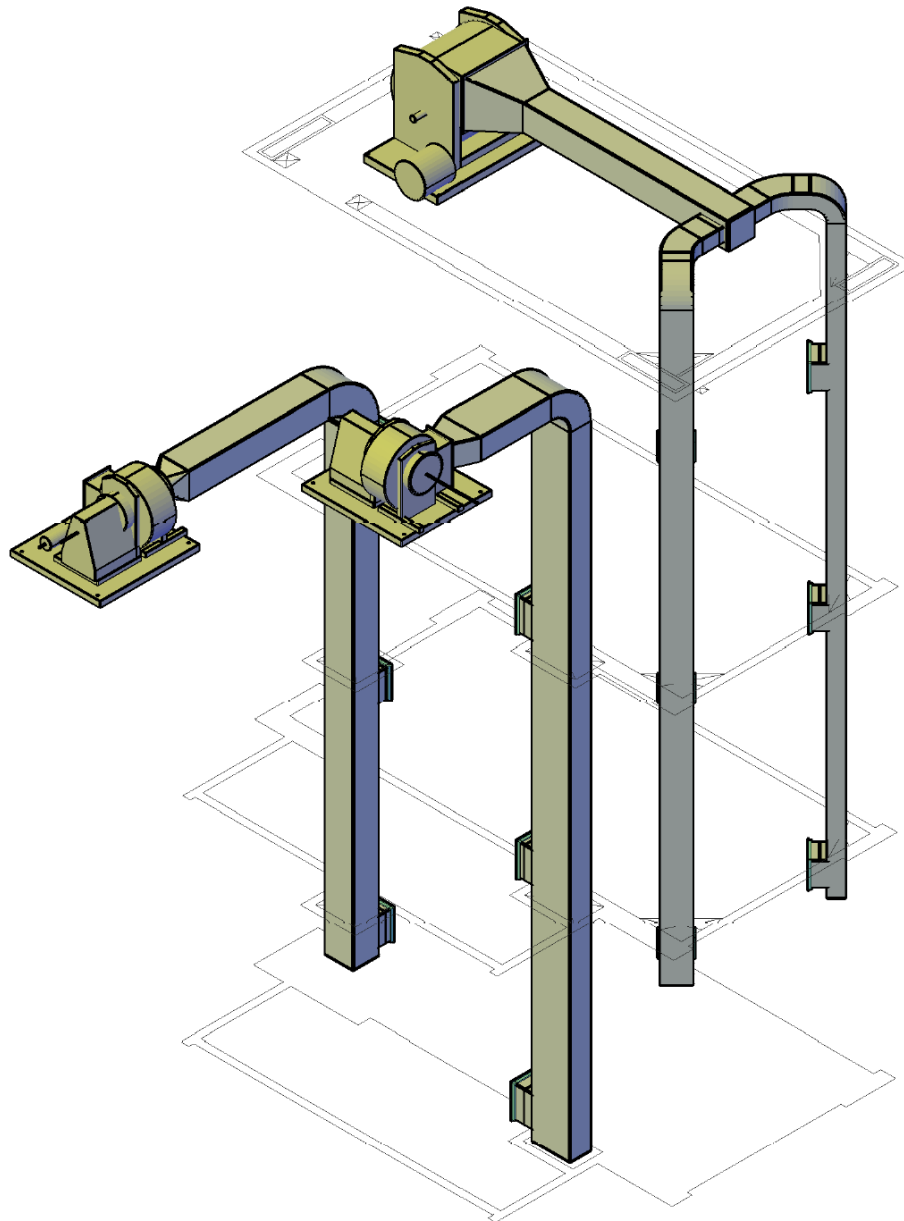
Plano 3: Corte lateral de escalera presurizada sin vestíbulo ventilado.

Elaboración propia.



Plano 4: Planos de planta de escaleras presurizadas sin vestíbulo ventilado.

Elaboración propia.

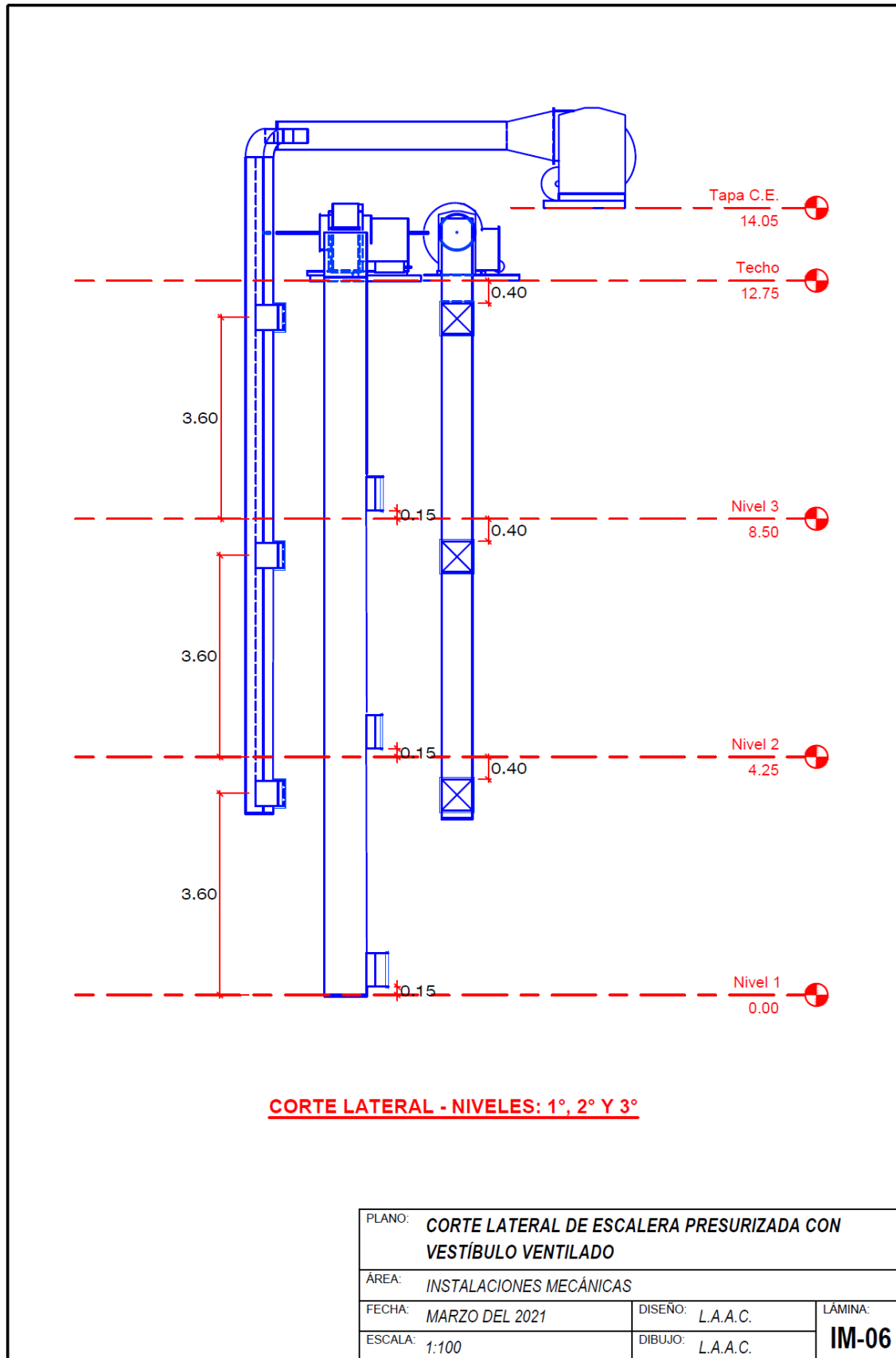


VISTA 3D - NIVELES: 1°, 2° Y 3°

PLANO:	VISTA 3D DE ESC. PRES. CON VESTÍBULO VENTILADO			
ÁREA:	INSTALACIONES MECÁNICAS			
FECHA:	MARZO DEL 2021	DISEÑO:	L.A.A.C.	LÁMINA:
ESCALA:	1:100	DIBUJO:	L.A.A.C.	IM-05

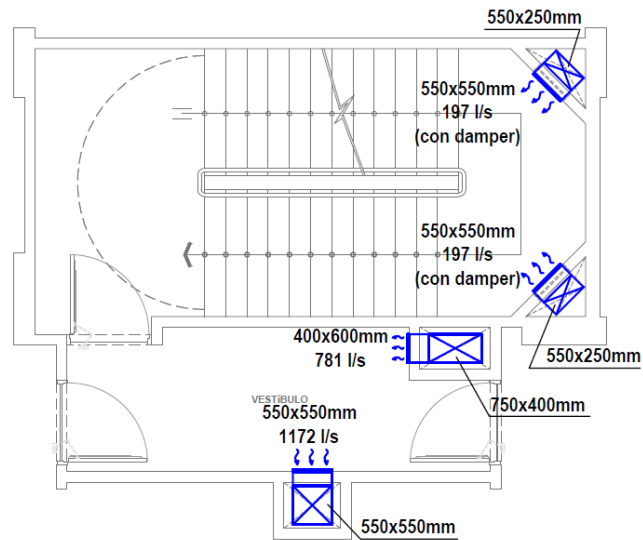
Plano 5: Vista 3D de escaleras presurizadas con vestíbulo ventilado.

Elaboración propia.

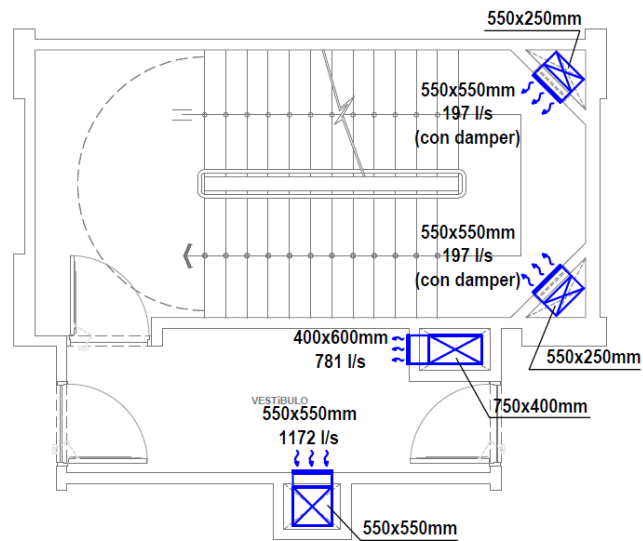


Plano 6: Corte lateral de escalera presurizada con vestíbulo ventilado.

Elaboración propia.



**PRESURIZACIÓN DE ESCALERA CON VESTÍBULO VENTILADO
1° NIVEL**

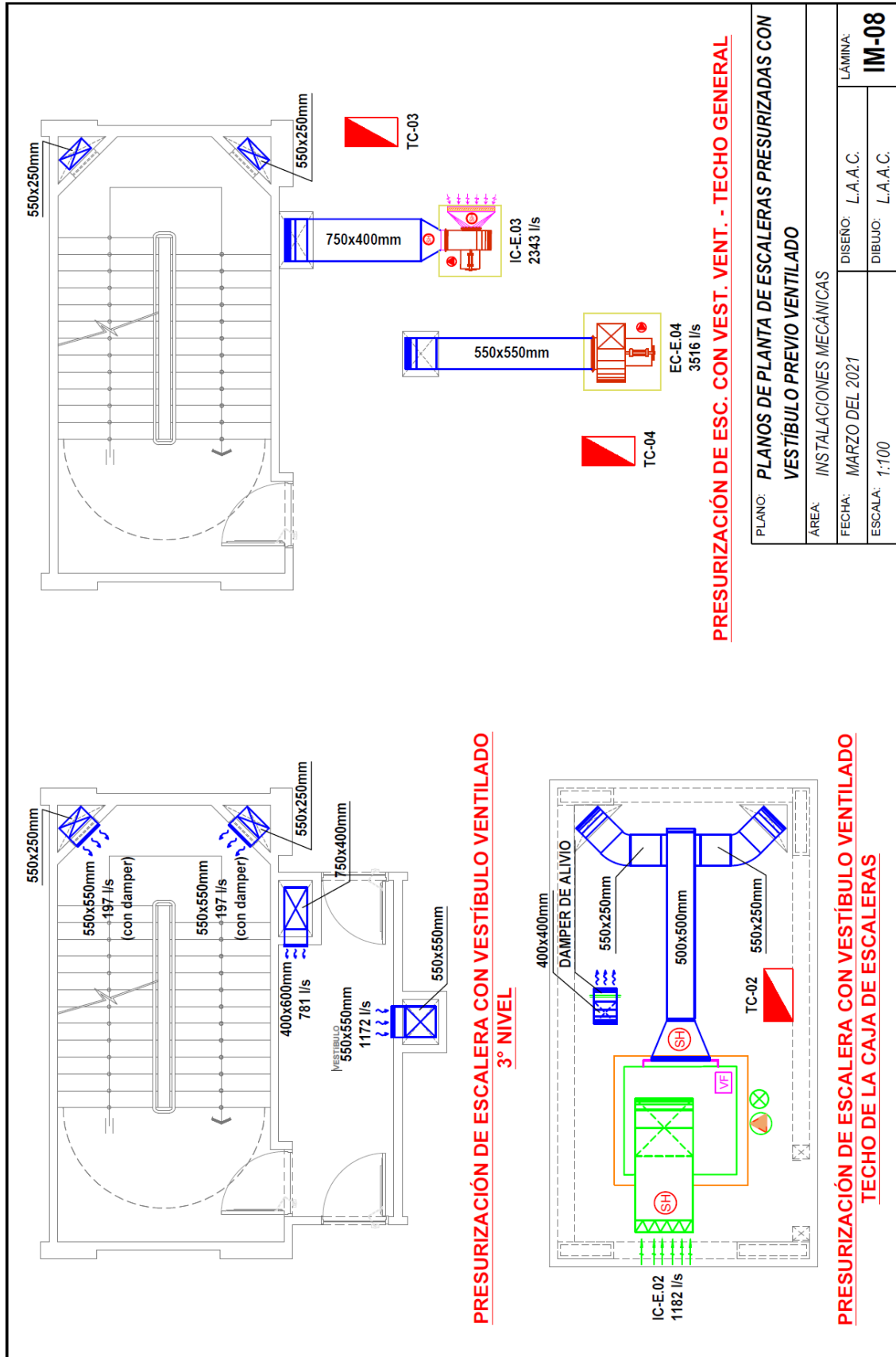


**PRESURIZACIÓN DE ESCALERA CON VESTÍBULO VENTILADO
2° NIVEL**

PLANO:	PLANOS DE PLANTA DE ESCALERAS PRESURIZADAS CON VESTÍBULO PREVIO VENTILADO		
ÁREA:	INSTALACIONES MECÁNICAS		
FECHA:	MARZO DEL 2021	DISEÑO:	L.A.A.C.
ESCALA:	1:100	DIBUJO:	L.A.A.C.
			LÁMINA: IM-07

Plano 7: Plano de planta de escaleras presurizadas con vestíbulo ventilado (parte I).

Elaboración propia.



Plano 8: Plano de planta de escaleras presurizadas con vestíbulo ventilado (parte II).

Elaboración propia.

ANEXOS

1. Datos meteorológicos SENAMHI.

Tabla 1.1: Datos meteorológicos correspondientes al 01 y 02 de febrero del 2020.

Estación : JULIACA						
Departamento : PUNO		Provincia : SAN ROMAN		Distrito : JULIACA		
Latitud : 15°28'15.8"		Longitud : 70°10'16.4"		Altitud : 3826 msnm.		
Tipo : EMA - Meteorológica		Código : 472CF72C				
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
1/02/2020	00:00	6.3	0	99	163	0.7
1/02/2020	01:00	5.9	0	100	345	0
1/02/2020	02:00	5.3	0	100	260	0
1/02/2020	03:00	4.9	0	100	93	0
1/02/2020	04:00	5.8	0	100	303	1.5
1/02/2020	05:00	5.8	0	100	316	0
1/02/2020	06:00	5.5	0	100	101	0.3
1/02/2020	07:00	6.8	0	100	113	1.5
1/02/2020	08:00	9.4	0	91	84	1.6
1/02/2020	09:00	11.9	0	63	208	1.1
1/02/2020	10:00	13.8	0	52	250	1.1
1/02/2020	11:00	14	0	48	89	0.5
1/02/2020	12:00	14.7	0	47	121	1.2
1/02/2020	13:00	15.5	0	45	135	1
1/02/2020	14:00	16	0	43	38	1.2
1/02/2020	15:00	16	0	44	66	3.6
1/02/2020	16:00	15.3	0	52	46	6.1
1/02/2020	17:00	13.9	0	57	5	4.2
1/02/2020	18:00	12.5	0	66	5	3.5
1/02/2020	19:00	11.4	0	70	88	0.7
1/02/2020	20:00	9.8	0	82	307	1.1
1/02/2020	21:00	9.4	0	93	152	0
1/02/2020	22:00	9	0	99	97	0
1/02/2020	23:00	8.4	0	100	273	0
2/02/2020	00:00	8.8	0	95	303	0
2/02/2020	01:00	8.3	0	96	236	0
2/02/2020	02:00	8.2	0	99	296	2.8
2/02/2020	03:00	6.9	0	100	277	0
2/02/2020	04:00	6.8	0	100	59	0.2
2/02/2020	05:00	7.9	0	100	114	0
2/02/2020	06:00	8	0	100	248	0
2/02/2020	07:00	8.7	0	100	283	0.3
2/02/2020	08:00	10.7	0	88	218	0.1
2/02/2020	09:00	12.5	0	62	104	0.5
2/02/2020	10:00	13.2	0	59	67	1.6
2/02/2020	11:00	15.7	0	49	80	2.2
2/02/2020	12:00	17.3	0	44	54	1.1
2/02/2020	13:00	17	0.1	45	305	3.8
2/02/2020	14:00	12.8	1.5	71	179	5.1
2/02/2020	15:00	12	0	80	248	2.9
2/02/2020	16:00	11.7	0.5	78	302	3.6
2/02/2020	17:00	10.4	1	83	269	1.1
2/02/2020	18:00	9.1	2.6	89	165	2.3
2/02/2020	19:00	8.8	0.6	90	184	1.8
2/02/2020	20:00	8.6	0	98	298	2.1
2/02/2020	21:00	8	0.2	100	209	0
2/02/2020	22:00	7.5	1.4	100	243	3.5
2/02/2020	23:00	7	2	100	274	4.5

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>



Tabla 1.2: Datos meteorológicos correspondientes al 03 y 04 de febrero del 2020.

Estación : JULIACA						
Departamento : PUNO		Provincia : SAN ROMAN		Distrito : JULIACA		
Latitud : 15°28'15.8"		Longitud : 70°10'16.4"		Altitud : 3826 msnm.		
Tipo : EMA - Meteorológica		Código : 472CF72C				
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (m m/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
3/02/2020	00:00	6.7	0.2	100	284	3.4
3/02/2020	01:00	6.8	0.4	100	280	2.6
3/02/2020	02:00	6.7	0.2	100	283	0.2
3/02/2020	03:00	6.8	0	100	288	2.4
3/02/2020	04:00	6.9	0	100	300	2.1
3/02/2020	05:00	6.9	0	100	276	1.5
3/02/2020	06:00	6.9	0	100	38	0
3/02/2020	07:00	7.3	0	100	108	0
3/02/2020	08:00	8.2	0	100	85	0.1
3/02/2020	09:00	9.6	0	92	102	1
3/02/2020	10:00	10.8	0	77	251	0.8
3/02/2020	11:00	12	0	72	211	0.3
3/02/2020	12:00	13.3	0	67	273	1.7
3/02/2020	13:00	14.8	0	57	352	1.5
3/02/2020	14:00	15.7	0	54	271	3.9
3/02/2020	15:00	13	1.7	72	55	6.9
3/02/2020	16:00	10.7	0.4	89	92	6.2
3/02/2020	17:00	10.4	0	90	44	4.8
3/02/2020	18:00	10.8	0	82	240	1.6
3/02/2020	19:00	8.3	0.2	100	315	4.3
3/02/2020	20:00	7.7	0.4	100	286	2.5
3/02/2020	21:00	7.7	0	100	276	4.9
3/02/2020	22:00	7.2	0	100	319	2.8
3/02/2020	23:00	7.3	0	100	275	0
4/02/2020	00:00	7.3	0	100	131	0
4/02/2020	01:00	7.4	0	100	32	0
4/02/2020	02:00	7.6	0	100	228	0
4/02/2020	03:00	7.6	0	100	121	0
4/02/2020	04:00	7.7	0	100	92	0.1
4/02/2020	05:00	7.7	0	100	117	0
4/02/2020	06:00	7.5	0	100	285	0.6
4/02/2020	07:00	7.7	0	100	263	0
4/02/2020	08:00	9.2	0	98	58	0.8
4/02/2020	09:00	10.5	0	86	52	0
4/02/2020	10:00	11.3	0	74	94	1.2
4/02/2020	11:00	12.9	0	63	134	0.2
4/02/2020	12:00	15	0	57	128	2.1
4/02/2020	13:00	15.6	0	57	99	1.7
4/02/2020	14:00	15.7	0	56	289	2
4/02/2020	15:00	16.4	0	54	117	2
4/02/2020	16:00	15.9	0	56	34	2.6
4/02/2020	17:00	13.2	7	71	195	1.6
4/02/2020	18:00	9.1	2.8	82	177	2.5
4/02/2020	19:00	8.3	2.1	98	319	2.9
4/02/2020	20:00	9	0.9	92	344	5.2
4/02/2020	21:00	8.4	0.1	98	263	3.9
4/02/2020	22:00	8.1	0.2	98	279	5.3
4/02/2020	23:00	8.2	0	100	299	3.1

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>



Tabla 1.3: Datos meteorológicos correspondientes al 05 y 06 de febrero del 2020.

Estación : JULIACA						
Departamento : PUNO		Provincia : SAN ROMAN		Distrito : JULIACA		
Latitud : 15°28'15.8"		Longitud : 70°10'16.4"		Altitud : 3826 msnm.		
Tipo : EMA - Meteorológica		Código : 472CF72C				
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
5/02/2020	00:00	8.3	0	100	243	0.4
5/02/2020	01:00	8	0	100	134	2
5/02/2020	02:00	8.2	0	100	61	4.4
5/02/2020	03:00	8	0	99	31	2.2
5/02/2020	04:00	8.1	0	96	265	1
5/02/2020	05:00	7.3	0	100	299	2
5/02/2020	06:00	6.5	0	98	295	1.4
5/02/2020	07:00	6.6	0	98	287	0.1
5/02/2020	08:00	8.6	0	98	231	0.2
5/02/2020	09:00	10.9	0	81	217	0.1
5/02/2020	10:00	13.1	0	65	153	1.8
5/02/2020	11:00	14.1	0	59	127	3.6
5/02/2020	12:00	15	0	55	234	0.7
5/02/2020	13:00	15.7	0	53	143	2.7
5/02/2020	14:00	16.7	0	47	59	6.8
5/02/2020	15:00	13.6	0	65	65	8.7
5/02/2020	16:00	13.2	0	65	65	4.8
5/02/2020	17:00	13.1	0	63	269	1.9
5/02/2020	18:00	11.3	0	71	309	3.1
5/02/2020	19:00	10.6	0	77	305	0.4
5/02/2020	20:00	10.4	0	85	231	4
5/02/2020	21:00	9.6	0	79	208	0.5
5/02/2020	22:00	8.7	0	86	179	0
5/02/2020	23:00	8.8	0	86	214	0.9
6/02/2020	00:00	9	0	84	303	4.1
6/02/2020	01:00	8.9	0	78	275	1.9
6/02/2020	02:00	8.8	0	70	255	0.3
6/02/2020	03:00	7.9	0	86	53	0.1
6/02/2020	04:00	8	0	75	241	0.8
6/02/2020	05:00	7.8	0	76	112	0
6/02/2020	06:00	8.1	0	71	324	0.2
6/02/2020	07:00	8.4	0	72	275	0
6/02/2020	08:00	10.2	0	65	74	1
6/02/2020	09:00	12.7	0	53	161	1
6/02/2020	10:00	13.8	0	52	194	1.4
6/02/2020	11:00	13.1	0	56	295	1.5
6/02/2020	12:00	14.4	0	56	265	3.1
6/02/2020	13:00	16.4	0	49	229	2
6/02/2020	14:00	17.3	0	45	218	0.6
6/02/2020	15:00	14.9	0.8	59	67	8.5
6/02/2020	16:00	10.3	5.7	84	341	6.6
6/02/2020	17:00	8.8	3.6	99	359	5.1
6/02/2020	18:00	9.2	0.9	98	272	4
6/02/2020	19:00	9.1	0.5	100	269	5.7
6/02/2020	20:00	8.8	0	100	271	4.8
6/02/2020	21:00	8.2	0	100	302	1.9
6/02/2020	22:00	8.4	0	97	266	1.1
6/02/2020	23:00	8.5	0	99	234	0

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>



Tabla 1.4: Datos meteorológicos correspondientes al 07 y 08 de febrero del 2020.

Estación : JULIACA						
Departamento : PUNO		Provincia : SAN ROMAN		Distrito : JULIACA		
Latitud : 15°28'15.8"		Longitud : 70°10'16.4"		Altitud : 3826 msnm.		
Tipo : EMA - Meteorológica		Código : 472CF72C				
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
7/02/2020	00:00	8.4	0	100	180	0
7/02/2020	01:00	8.4	0	100	139	0
7/02/2020	02:00	8.3	0	100	98	0.2
7/02/2020	03:00	8.2	0	100	80	1.2
7/02/2020	04:00	8.2	0.4	100	111	4.5
7/02/2020	05:00	7.3	0.2	100	78	2.7
7/02/2020	06:00	7.3	0.4	100	83	2.8
7/02/2020	07:00	7.5	0.3	100	68	3
7/02/2020	08:00	8.1	0	100	70	3.4
7/02/2020	09:00	8.8	0	100	69	4.2
7/02/2020	10:00	10.2	0	91	35	1
7/02/2020	11:00	12.9	0	70	60	0.7
7/02/2020	12:00	13.2	0	62	109	1.2
7/02/2020	13:00	13.2	0	64	77	3.2
7/02/2020	14:00	14.2	0	61	85	3.5
7/02/2020	15:00	15.4	0	55	100	2.7
7/02/2020	16:00	15.9	0	51	78	1.8
7/02/2020	17:00	13.7	0.1	61	159	5.5
7/02/2020	18:00	10.8	0.6	96	284	0.2
7/02/2020	19:00	11.1	0	97	284	1.9
7/02/2020	20:00	10.6	0	97	149	1.9
7/02/2020	21:00	9.7	0.1	98	139	3.7
7/02/2020	22:00	9.7	0	93	229	2.4
7/02/2020	23:00	9.5	0	91	261	0
8/02/2020	00:00	9.4	0.2	93	21	0
8/02/2020	01:00	8.9	0.3	98	89	1.2
8/02/2020	02:00	8.3	0.6	100	341	0
8/02/2020	03:00	8.1	1.2	100	306	0.1
8/02/2020	04:00	7.9	1.4	100	217	0
8/02/2020	05:00	7.6	2.1	100	163	0
8/02/2020	06:00	7.4	3.7	100	142	2.4
8/02/2020	07:00	7	3.4	100	266	0.2
8/02/2020	08:00	7.3	2.3	100	250	2.9
8/02/2020	09:00	7.5	2	100	276	4.2
8/02/2020	10:00	7.7	0.6	100	291	3.4
8/02/2020	11:00	8.7	0.2	100	293	2.4
8/02/2020	12:00	9.7	0.1	100	244	1
8/02/2020	13:00	10.3	0	96	203	2.7
8/02/2020	14:00	10.1	0.2	95	225	0.2
8/02/2020	15:00	10.5	0.3	90	40	3.9
8/02/2020	16:00	8.6	3.1	98	18	3.5
8/02/2020	17:00	10.2	0.1	90	297	1.2
8/02/2020	18:00	10.6	0	91	306	3.3
8/02/2020	19:00	9.9	0.1	92	312	2.2
8/02/2020	20:00	9.5	0	100	336	0
8/02/2020	21:00	9.6	0	93	162	1.7
8/02/2020	22:00	9.1	0	100	54	0.2
8/02/2020	23:00	8.3	0	100	95	0

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>



Tabla 1.5: Datos meteorológicos correspondientes al 09 y 10 de febrero del 2020.

Estación : JULIACA						
Departamento : PUNO		Provincia : SAN ROMAN		Distrito : JULIACA		
Latitud : 15°28'15.8"		Longitud : 70°10'16.4"		Altitud : 3826 msnm.		
Tipo : EMA - Meteorológica		Código : 472CF72C				
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
9/02/2020	00:00	8.1	0	100	65	0.7
9/02/2020	01:00	8.5	0	100	66	1.1
9/02/2020	02:00	8.2	0	100	108	1.4
9/02/2020	03:00	7.6	0	100	120	3.1
9/02/2020	04:00	7.3	0.5	100	360	0
9/02/2020	05:00	7.2	0.6	100	59	2.1
9/02/2020	06:00	7.1	0.7	100	86	3.1
9/02/2020	07:00	7.6	0	100	95	4
9/02/2020	08:00	8.1	0	100	100	4.4
9/02/2020	09:00	9.2	0	97	96	4.2
9/02/2020	10:00	10.2	0	82	98	4.2
9/02/2020	11:00	12.4	0	71	108	3.6
9/02/2020	12:00	13.6	0	64	68	2.7
9/02/2020	13:00	13.8	0	64	97	2.4
9/02/2020	14:00	14.9	0	57	129	1.6
9/02/2020	15:00	16.3	0	52	95	1.4
9/02/2020	16:00	16.7	0	52	106	4.2
9/02/2020	17:00	13.7	0	66	74	5.1
9/02/2020	18:00	12	0.1	78	62	3.4
9/02/2020	19:00	11	0	82	287	8.6
9/02/2020	20:00	7.2	0.1	99	296	6.4
9/02/2020	21:00	7.5	0.2	100	279	4
9/02/2020	22:00	7.5	1.2	100	261	1.5
9/02/2020	23:00	7.3	0.7	100	191	2.8
10/02/2020	00:00	7.3	1.9	100	327	0.4
10/02/2020	01:00	6.9	3.2	100	169	2.6
10/02/2020	02:00	5.9	2.7	100	201	3.5
10/02/2020	03:00	5.5	1.3	100	220	3.5
10/02/2020	04:00	5.5	0	100	237	2.2
10/02/2020	05:00	5.5	0	100	276	2.2
10/02/2020	06:00	5.7	0.2	100	273	2
10/02/2020	07:00	6.2	0.1	100	313	1.3
10/02/2020	08:00	7.8	0	89	200	0
10/02/2020	09:00	9.3	0	78	234	0.3
10/02/2020	10:00	10.8	0	76	158	1.9
10/02/2020	11:00	12.1	0	72	298	2
10/02/2020	12:00	13.2	0	64	331	0.8
10/02/2020	13:00	13.9	0	62	119	3.4
10/02/2020	14:00	13.1	0	65	5	6.1
10/02/2020	15:00	12.6	0	72	331	3.4
10/02/2020	16:00	14.2	0	62	312	2.2
10/02/2020	17:00	13	0.1	67	55	8.1
10/02/2020	18:00	9.6	0.7	90	348	2.8
10/02/2020	19:00	9.5	0.1	88	184	0.3
10/02/2020	20:00	8.8	0.1	100	282	1.5
10/02/2020	21:00	8.9	0.1	100	19	0
10/02/2020	22:00	8.9	0	100	59	4.5
10/02/2020	23:00	8.1	0.2	100	355	0.5

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>



Tabla 1.6: Datos meteorológicos correspondientes al 11 y 12 de febrero del 2020.

Estación : JULIACA						
Departamento : PUNO		Provincia : SAN ROMAN		Distrito : JULIACA		
Latitud : 15°28'15.8"		Longitud : 70°10'16.4"		Altitud : 3826 msnm.		
Tipo : EMA - Meteorológica		Código : 472CF2C				
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
11/02/2020	00:00	8.1	0	100	279	3.7
11/02/2020	01:00	7.5	0	100	282	3.3
11/02/2020	02:00	7.3	0	100	282	2.9
11/02/2020	03:00	7	0	100	257	2
11/02/2020	04:00	7.2	0	100	259	0.8
11/02/2020	05:00	7.2	0	100	256	0.3
11/02/2020	06:00	7.2	0	100	240	1.6
11/02/2020	07:00	7.5	0	100	281	1
11/02/2020	08:00	8.5	0	99	297	2
11/02/2020	09:00	10.4	0	84	153	0.7
11/02/2020	10:00	12.6	0	68	136	1.2
11/02/2020	11:00	13.8	0	59	87	3.2
11/02/2020	12:00	14.9	0	56	137	2.9
11/02/2020	13:00	15.3	0	57	116	4
11/02/2020	14:00	16.1	0	55	101	5.4
11/02/2020	15:00	14.3	0	62	89	7.2
11/02/2020	16:00	13.4	0	65	56	5.4
11/02/2020	17:00	12.7	0	68	67	3.2
11/02/2020	18:00	12.1	0	73	57	2.4
11/02/2020	19:00	10.9	0	82	288	2.3
11/02/2020	20:00	10.3	0	83	297	2.5
11/02/2020	21:00	9.1	0	95	265	4.4
11/02/2020	22:00	8.2	2.2	98	299	2.5
11/02/2020	23:00	7.3	1	100	218	2.7
12/02/2020	00:00	7.1	0	100	204	2
12/02/2020	01:00	7.1	0	100	173	1.7
12/02/2020	02:00	7.1	0	100	218	1.7
12/02/2020	03:00	6.8	0	100	137	0.1
12/02/2020	04:00	6.5	0	100	105	0
12/02/2020	05:00	6.7	0	100	125	1.2
12/02/2020	06:00	6.8	0	100	126	0.9
12/02/2020	07:00	7.1	0	100	121	1.1
12/02/2020	08:00	8.1	0	97	166	0.1
12/02/2020	09:00	9.2	0	89	74	1.2
12/02/2020	10:00	10.1	0	79	84	1.5
12/02/2020	11:00	11.7	0	73	103	1.3
12/02/2020	12:00	13.1	0	69	141	2.4
12/02/2020	13:00	13.9	0	62	93	1.6
12/02/2020	14:00	15.1	0	56	95	3.1
12/02/2020	15:00	14.4	0	60	64	4.6
12/02/2020	16:00	13	0	63	60	4.3
12/02/2020	17:00	12.4	0	70	14	3.5
12/02/2020	18:00	11.6	0	71	348	2.6
12/02/2020	19:00	11	0	72	336	2
12/02/2020	20:00	10.5	0	76	302	1.8
12/02/2020	21:00	10.4	0	77	329	1.9
12/02/2020	22:00	10	0	83	358	5.2
12/02/2020	23:00	10	0	79	191	0.5

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>



Tabla 1.7: Datos meteorológicos correspondientes al 13 y 14 de febrero del 2020.

Estación : JULIACA						
Departamento : PUNO		Provincia : SAN ROMAN		Distrito : JULIACA		
Latitud : 15°28'15.8"		Longitud : 70°10'16.4"		Altitud : 3826 msnm.		
Tipo : EMA - Meteorológica		Código : 472CF72C				
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
13/02/2020	00:00	9.6	0	94	231	0.5
13/02/2020	01:00	9.1	0	99	200	2.2
13/02/2020	02:00	8.3	0.1	100	166	1.2
13/02/2020	03:00	7.6	0.5	100	191	2.7
13/02/2020	04:00	7.5	0	100	314	0
13/02/2020	05:00	7.3	0	100	209	1.1
13/02/2020	06:00	7.1	0	100	58	0.9
13/02/2020	07:00	7.6	0	100	272	0
13/02/2020	08:00	9	0	95	110	0
13/02/2020	09:00	10.7	0	80	118	1.1
13/02/2020	10:00	12	0	71	34	0.6
13/02/2020	11:00	13.4	0	63	330	1.1
13/02/2020	12:00	14.3	0	59	86	4.1
13/02/2020	13:00	13.5	0	65	244	3.7
13/02/2020	14:00	13.8	0	70	86	4.4
13/02/2020	15:00	13.6	0.2	68	348	0.8
13/02/2020	16:00	14.5	0	64	72	3.7
13/02/2020	17:00	14.4	0	62	52	4
13/02/2020	18:00	13.2	0	67	66	3.4
13/02/2020	19:00	11.9	0	72	81	2.3
13/02/2020	20:00	11.5	0.4	76	347	3.7
13/02/2020	21:00	10.3	0	86	218	1.1
13/02/2020	22:00	9.1	0.2	100	270	0.2
13/02/2020	23:00	8.6	0.2	100	160	0.2
14/02/2020	00:00	8.3	1.6	100	135	1.9
14/02/2020	01:00	8	0.1	100	208	1.5
14/02/2020	02:00	7.7	1.4	100	106	0.4
14/02/2020	03:00	7.3	1.9	100	111	2.5
14/02/2020	04:00	7.1	4	100	92	0.6
14/02/2020	05:00	7	2.1	100	73	3.1
14/02/2020	06:00	6.4	1.5	100	77	3.3
14/02/2020	07:00	6.2	1	100	59	0.7
14/02/2020	08:00	6.5	0.5	100	104	2.8
14/02/2020	09:00	6.9	0.3	100	194	0.4
14/02/2020	10:00	7.4	0.1	100	196	1.9
14/02/2020	11:00	9.2	0	96	105	2.2
14/02/2020	12:00	10.7	0	87	191	1
14/02/2020	13:00	12.6	0	71	138	1
14/02/2020	14:00	13.4	0	66	120	0.9
14/02/2020	15:00	14.1	0	63	345	4.2
14/02/2020	16:00	10.6	0.8	86	335	5.3
14/02/2020	17:00	10.5	0	81	289	0.7
14/02/2020	18:00	10.7	0	78	169	1
14/02/2020	19:00	10.2	0	90	55	4.6
14/02/2020	20:00	9.1	0	99	88	1.3
14/02/2020	21:00	8.1	0	100	106	0.8
14/02/2020	22:00	8	0	100	68	0.5
14/02/2020	23:00	7.4	0	100	66	1.1

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>



Tabla 1.8: Datos meteorológicos correspondientes al 15 y 16 de febrero del 2020.

Estación : JULIACA						
Departamento : PUNO		Provincia : SAN ROMAN		Distrito : JULIACA		
Latitud : 15°28'15.8"		Longitud : 70°10'16.4"		Altitud : 3826 msnm.		
Tipo : EMA - Meteorológica		Código : 472CF72C				
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
15/02/2020	00:00	6.8	0	100	61	0.5
15/02/2020	01:00	6	0	98	308	1.5
15/02/2020	02:00	5.9	0	98	260	1
15/02/2020	03:00	4.9	0	98	205	0
15/02/2020	04:00	4.7	0	98	293	0
15/02/2020	05:00	4	0	98	259	0.9
15/02/2020	06:00	4.1	0	98	286	0.8
15/02/2020	07:00	5.2	0.1	98	281	0
15/02/2020	08:00	7.2	0	98	148	0
15/02/2020	09:00	9.4	0	98	123	1.9
15/02/2020	10:00	11.4	0	88	49	5.8
15/02/2020	11:00	10.2	0	85	129	1.1
15/02/2020	12:00	11.5	0.2	81	360	3.2
15/02/2020	13:00	13.4	0	66	326	0.8
15/02/2020	14:00	14.8	0	54	95	2.8
15/02/2020	15:00	14.2	0	61	68	6.2
15/02/2020	16:00	12.9	0	67	80	3.8
15/02/2020	17:00	14.1	0	61	104	1.1
15/02/2020	18:00	13.5	0	63	161	0.3
15/02/2020	19:00	11.2	0	82	284	0
15/02/2020	20:00	9.9	0	94	245	0.6
15/02/2020	21:00	9.4	0	86	258	1.3
15/02/2020	22:00	9.5	0	83	256	0
15/02/2020	23:00	10	0	82	339	3.2
16/02/2020	00:00	8.6	6.9	99	304	4.8
16/02/2020	01:00	7.6	0.6	100	228	0.2
16/02/2020	02:00	7.7	0	100	308	2.8
16/02/2020	03:00	7.4	0	100	269	0.5
16/02/2020	04:00	7.3	0	100	292	1.9
16/02/2020	05:00	6.9	0	100	302	0.7
16/02/2020	06:00	6.4	0	100	83	0.7
16/02/2020	07:00	6.6	0	100	309	0
16/02/2020	08:00	9.5	0	96	201	0.1
16/02/2020	09:00	12.3	0	70	173	0.1
16/02/2020	10:00	13.5	0	67	46	3.3
16/02/2020	11:00	14.5	0	57	322	3.4
16/02/2020	12:00	15.6	0	52	355	2.6
16/02/2020	13:00	16.4	0	50	346	1.6
16/02/2020	14:00	17.3	0	44	93	1.2
16/02/2020	15:00	18.1	0	42	45	4.1
16/02/2020	16:00	14.8	0	56	55	5
16/02/2020	17:00	12.8	0	63	253	1.4
16/02/2020	18:00	12.4	0	65	140	0.1
16/02/2020	19:00	11.3	0	73	94	0
16/02/2020	20:00	10.7	0	85	285	0.5
16/02/2020	21:00	10.1	0	85	198	4.3
16/02/2020	22:00	9.6	0	85	259	2.9
16/02/2020	23:00	9.1	0	83	226	1.7

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>

Tabla 1.9: Datos meteorológicos correspondientes al 17 y 18 de febrero del 2020.

Estación : JULIACA						
Departamento : PUNO		Provincia : SAN ROMAN		Distrito : JULIACA		
Latitud : 15°28'15.8"		Longitud : 70°10'16.4"		Altitud : 3826 msnm.		
Tipo : EMA - Meteorológica		Código : 472CF2C				
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
17/02/2020	00:00	8	0	94	191	2.2
17/02/2020	01:00	8.2	0	90	234	0.4
17/02/2020	02:00	7.8	0	90	44	2.1
17/02/2020	03:00	7.3	0	95	50	1.4
17/02/2020	04:00	7	0	98	108	0.1
17/02/2020	05:00	7	0	100	311	2.4
17/02/2020	06:00	6.4	0	100	302	0
17/02/2020	07:00	7.3	0	100	242	0
17/02/2020	08:00	10.2	0	92	241	0.1
17/02/2020	09:00	10.9	0	80	93	0.8
17/02/2020	10:00	13.2	0	65	48	1.4
17/02/2020	11:00	14.7	0	58	102	2.4
17/02/2020	12:00	15.9	0	53	37	3.7
17/02/2020	13:00	16.3	0	52	317	1.3
17/02/2020	14:00	17.1	0	46	236	4.4
17/02/2020	15:00	16.6	0	52	211	6.1
17/02/2020	16:00	17.2	0	47	227	6.3
17/02/2020	17:00	15.9	0	49	120	4.2
17/02/2020	18:00	13.1	0	60	210	6
17/02/2020	19:00	11.8	0	65	184	3.9
17/02/2020	20:00	11.1	0	67	186	1.8
17/02/2020	21:00	11.1	0	66	259	0.2
17/02/2020	22:00	11.1	0	65	45	0
17/02/2020	23:00	9.6	0.9	93	351	4.2
18/02/2020	00:00	9.3	0.2	95	356	5.3
18/02/2020	01:00	9.3	0	89	357	5.3
18/02/2020	02:00	9	0	88	341	2.2
18/02/2020	03:00	8.7	0	88	256	0.1
18/02/2020	04:00	7.6	0	98	217	0.1
18/02/2020	05:00	7	0	100	70	0
18/02/2020	06:00	7	0	100	170	0.1
18/02/2020	07:00	7.7	0	100	277	1.4
18/02/2020	08:00	8.3	0	100	282	0.6
18/02/2020	09:00	9.5	0	94	228	0.1
18/02/2020	10:00	10	0.2	87	47	1.4
18/02/2020	11:00	11.2	0	81	295	1.4
18/02/2020	12:00	12.4	0	69	175	0.3
18/02/2020	13:00	14.3	0	63	231	0.3
18/02/2020	14:00	15.6	0	55	82	1.7
18/02/2020	15:00	14	0	63	92	4.7
18/02/2020	16:00	14.7	0	58	81	5.2
18/02/2020	17:00	14.5	0	56	73	3.4
18/02/2020	18:00	13.3	0	62	111	2
18/02/2020	19:00	11.1	0	76	70	1.3
18/02/2020	20:00	10.3	0	79	76	1.6
18/02/2020	21:00	9.4	0	90	285	0.1
18/02/2020	22:00	9	0	100	295	0
18/02/2020	23:00	7.9	0	100	304	1

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>

Tabla 1.10: Datos meteorológicos correspondientes al 19 y 20 de febrero del 2020.

Estación : JULIACA						
Departamento : PUNO		Provincia : SAN ROMAN		Distrito : JULIACA		
Latitud : 15°28'15.8"		Longitud : 70°10'16.4"		Altitud : 3826 msnm.		
Tipo : EMA - Meteorológica		Código : 472CF72C				
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
19/02/2020	00:00	7.4	0	100	288	1.3
19/02/2020	01:00	7.1	0	98	271	0.5
19/02/2020	02:00	7.1	0	98	292	1.1
19/02/2020	03:00	6.6	0	98	313	0
19/02/2020	04:00	6.2	0	98	267	1.7
19/02/2020	05:00	6.1	0	98	253	0.6
19/02/2020	06:00	6	0	98	346	0
19/02/2020	07:00	6.3	0	98	47	0.1
19/02/2020	08:00	8.6	0	100	61	1.1
19/02/2020	09:00	10.2	0.1	95	231	1
19/02/2020	10:00	12.9	0	74	321	1.2
19/02/2020	11:00	14.1	0	67	324	3.3
19/02/2020	12:00	14.8	0	57	26	1.7
19/02/2020	13:00	15.3	0	56	269	0.2
19/02/2020	14:00	16.8	0	46	292	1.1
19/02/2020	15:00	17	0	47	219	0.8
19/02/2020	16:00	17.7	0	42	358	0.6
19/02/2020	17:00	17	0	45	46	3.9
19/02/2020	18:00	14.4	0	58	147	5.4
19/02/2020	19:00	10.1	0.1	87	264	4.9
19/02/2020	20:00	8.9	0	100	308	5.5
19/02/2020	21:00	9.1	0	99	309	5.3
19/02/2020	22:00	9.5	0	81	296	3.8
19/02/2020	23:00	8.9	0	84	289	1.6
20/02/2020	00:00	6.9	0	98	84	0
20/02/2020	01:00	6.5	0	100	115	0.3
20/02/2020	02:00	7	0	100	60	0
20/02/2020	03:00	7.3	0	100	287	0.7
20/02/2020	04:00	6.4	0	100	268	0
20/02/2020	05:00	6.3	0	100	212	0.2
20/02/2020	06:00	5.9	0	100	286	0.2
20/02/2020	07:00	7.2	0	100	227	0.1
20/02/2020	08:00	8.5	0	100	103	0.3
20/02/2020	09:00	10.1	0	92	158	0.1
20/02/2020	10:00	12.5	0	64	134	0.1
20/02/2020	11:00	13.3	0	59	246	0.6
20/02/2020	12:00	14.7	0	56	134	2
20/02/2020	13:00	14	0.1	58	165	1.7
20/02/2020	14:00	10.2	0.7	80	33	4
20/02/2020	15:00	9.1	1.2	99	215	0.9
20/02/2020	16:00	10.3	0.2	98	229	0.7
20/02/2020	17:00	11.3	0	87	274	2.7
20/02/2020	18:00	11	0	83	283	0.2
20/02/2020	19:00	10	0	96	278	1.8
20/02/2020	20:00	9.5	0	97	251	0
20/02/2020	21:00	9	0	95	75	0.8
20/02/2020	22:00	8.1	0	99	38	0.8
20/02/2020	23:00	7.5	0	100	258	0

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>

Tabla 1.11: Datos meteorológicos correspondientes al 21 y 22 de febrero del 2020.

Estación : JULIACA						
Departamento : PUNO		Provincia : SAN ROMAN		Distrito : JULIACA		
Latitud : 15°28'15.8"		Longitud : 70°10'16.4"		Altitud : 3826 msnm.		
Tipo : EMA - Meteorológica		Código : 472CF72C				
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
21/02/2020	00:00	7.4	0	100	300	0.3
21/02/2020	01:00	7.9	0	100	313	0
21/02/2020	02:00	7.4	0	100	292	0
21/02/2020	03:00	7.4	0	100	277	0
21/02/2020	04:00	7.9	0	97	75	0.1
21/02/2020	05:00	7.6	0	97	76	1.3
21/02/2020	06:00	7.4	0.1	97	68	2.6
21/02/2020	07:00	7.3	0.2	97	83	2.2
21/02/2020	08:00	7.5	0.8	97	83	4.9
21/02/2020	09:00	7.6	0.7	100	85	1.6
21/02/2020	10:00	8	0.9	100	70	3.2
21/02/2020	11:00	8.2	1.2	100	69	1.3
21/02/2020	12:00	8.2	1.1	100	102	3.1
21/02/2020	13:00	7.9	1.7	100	110	0.6
21/02/2020	14:00	8.2	0.7	100	176	0
21/02/2020	15:00	8.1	0.8	100	284	1.7
21/02/2020	16:00	7.9	0.7	100	310	1.2
21/02/2020	17:00	8	0.2	100	272	1.8
21/02/2020	18:00	8	0.1	100	263	0.9
21/02/2020	19:00	7.7	0.1	100	278	1.2
21/02/2020	20:00	7.5	0.1	100	267	1.5
21/02/2020	21:00	7.4	0	100	273	2.2
21/02/2020	22:00	7.3	0	100	294	0.4
21/02/2020	23:00	7.4	0.1	100	312	1.2
22/02/2020	00:00	7.3	0	100	283	0
22/02/2020	01:00	7.5	0	100	282	0.6
22/02/2020	02:00	7.6	0	100	311	0.1
22/02/2020	03:00	7.6	0	100	267	0
22/02/2020	04:00	7.2	0	100	270	0
22/02/2020	05:00	7	0	100	230	0
22/02/2020	06:00	6	0	100	19	0
22/02/2020	07:00	7	0	100	126	0
22/02/2020	08:00	9.3	0	95	222	0
22/02/2020	09:00	10.2	0	83	111	1.4
22/02/2020	10:00	11.5	0	74	82	4.4
22/02/2020	11:00	12.7	0	67	70	3
22/02/2020	12:00	14	0	63	85	4.3
22/02/2020	13:00	14.9	0	58	83	4
22/02/2020	14:00	14.6	0	59	97	5.7
22/02/2020	15:00	13.5	0.4	66	91	4.2
22/02/2020	16:00	10.7	2	87	358	7.1
22/02/2020	17:00	8.7	1.9	100	330	3.3
22/02/2020	18:00	8.4	3	100	50	1.1
22/02/2020	19:00	8.3	1.1	100	300	0.7
22/02/2020	20:00	8.4	0.3	100	278	2.1
22/02/2020	21:00	8.4	0	100	257	1
22/02/2020	22:00	8.5	0	100	282	1.4
22/02/2020	23:00	8.7	0.1	100	288	1.6

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>

Tabla 1.12: Datos meteorológicos correspondientes al 23 y 24 de febrero del 2020.

Estación : JULIACA						
Departamento : PUNO		Provincia : SAN ROMAN		Distrito : JULIACA		
Latitud : 15°28'15.8"		Longitud : 70°10'16.4"		Altitud : 3826 msnm.		
Tipo : EMA - Meteorológica		Código : 472CF72C				
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
23/02/2020	00:00	8.7	0	100	156	0
23/02/2020	01:00	8.4	0.2	100	247	0.1
23/02/2020	02:00	7.9	0.2	100	114	0.5
23/02/2020	03:00	7.8	0.1	100	279	2
23/02/2020	04:00	7.7	0	100	311	0.9
23/02/2020	05:00	7.6	0	100	243	0.2
23/02/2020	06:00	7.7	0	100	243	0.1
23/02/2020	07:00	8.3	0	100	276	1.5
23/02/2020	08:00	9.6	0	100	271	1.5
23/02/2020	09:00	11.1	0	89	232	1.9
23/02/2020	10:00	12.4	0	74	319	0.5
23/02/2020	11:00	13.7	0	64	130	0.6
23/02/2020	12:00	15.1	0	60	61	2.2
23/02/2020	13:00	16.5	0	54	2	1.8
23/02/2020	14:00	16.1	0	54	155	0.2
23/02/2020	15:00	16.4	0	51	117	0.1
23/02/2020	16:00	13	6.7	76	242	5.5
23/02/2020	17:00	12.8	0.1	74	245	7.1
23/02/2020	18:00	12.1	0	71	232	5.2
23/02/2020	19:00	11.3	0	73	188	2.6
23/02/2020	20:00	11.4	0	74	217	4.9
23/02/2020	21:00	10.2	0	83	232	1.9
23/02/2020	22:00	9.6	0	85	285	2.1
23/02/2020	23:00	9	0	87	305	0.9
24/02/2020	00:00	9	0	84	281	0
24/02/2020	01:00	8.6	0	85	285	0
24/02/2020	02:00	8.8	0	85	242	0
24/02/2020	03:00	8.5	0	91	94	0
24/02/2020	04:00	8.6	0	95	303	1.7
24/02/2020	05:00	7.9	0	100	47	0
24/02/2020	06:00	7.4	0	100	66	0
24/02/2020	07:00	6.8	0	100	166	0
24/02/2020	08:00	9.1	0	98	309	0.2
24/02/2020	09:00	13.1	0	62	73	0.7
24/02/2020	10:00	14.6	0	54	209	0.5
24/02/2020	11:00	15.8	0	51	125	1.1
24/02/2020	12:00	16.6	0	51	29	2.5
24/02/2020	13:00	17.6	0	43	151	0.9
24/02/2020	14:00	18.3	0	43	236	1.8
24/02/2020	15:00	18.4	0	43	223	1.2
24/02/2020	16:00	16.1	1.7	55	160	4.4
24/02/2020	17:00	9.8	8.8	80	66	6.7
24/02/2020	18:00	8.3	6.3	95	27	4.2
24/02/2020	19:00	7.4	5.7	95	294	3.7
24/02/2020	20:00	7.2	7.1	95	283	7.7
24/02/2020	21:00	6.9	3.3	95	297	5.2
24/02/2020	22:00	7	0.1	100	318	4.7
24/02/2020	23:00	7.8	0	89	303	3.8

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>



Tabla 1.13: Datos meteorológicos correspondientes al 25 y 26 de febrero del 2020.

Estación : JULIACA						
Departamento : PUNO		Provincia : SAN ROMAN		Distrito : JULIACA		
Latitud : 15°28'15.8"		Longitud : 70°10'16.4"		Altitud : 3826 msnm.		
Tipo : EMA - Meteorológica		Código : 472CF72C				
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
25/02/2020	00:00	6.7	0	96	70	1.9
25/02/2020	01:00	5.8	0	100	124	0.6
25/02/2020	02:00	6.6	0	100	293	0
25/02/2020	03:00	7.5	0	100	284	0
25/02/2020	04:00	7.3	0	100	80	0.8
25/02/2020	05:00	6.3	0	100	141	0.3
25/02/2020	06:00	6.3	0	100	54	0
25/02/2020	07:00	7.9	0	99	226	0
25/02/2020	08:00	10	0	91	295	0.3
25/02/2020	09:00	12.3	0	69	254	0.5
25/02/2020	10:00	13.5	0	62	209	0.7
25/02/2020	11:00	14.5	0	58	262	1.4
25/02/2020	12:00	15.8	0	58	120	2.5
25/02/2020	13:00	16.7	0	57	206	1.5
25/02/2020	14:00	19.5	0	51	152	1.5
25/02/2020	15:00	17.6	0	49	2	4
25/02/2020	16:00	16.4	0	48	284	1
25/02/2020	17:00	11.4	9.4	76	49	6.4
25/02/2020	18:00	9.8	4.8	96	219	5.1
25/02/2020	19:00	9.5	1.6	94	293	6.4
25/02/2020	20:00	8.6	0.2	100	312	5.2
25/02/2020	21:00	9	0	88	316	4.3
25/02/2020	22:00	8.7	0	94	304	4.4
25/02/2020	23:00	9.2	0	85	261	1.4
26/02/2020	00:00	8.4	0	94	58	1.7
26/02/2020	01:00	8	0	100	93	0.4
26/02/2020	02:00	8.1	0	100	43	0.1
26/02/2020	03:00	8.1	0	100	83	0
26/02/2020	04:00	8.3	0	100	128	0
26/02/2020	05:00	8.3	0	100	241	0
26/02/2020	06:00	8	0	100	198	0
26/02/2020	07:00	8.3	0	100	265	0
26/02/2020	08:00	10.2	0	89	74	0.1
26/02/2020	09:00	12.1	0	73	90	0.9
26/02/2020	10:00	13.1	0	67	152	0.4
26/02/2020	11:00	14.2	0	58	121	1.9
26/02/2020	12:00	15.2	0	55	334	1.3
26/02/2020	13:00	15.6	0	51	350	0.5
26/02/2020	14:00	16.4	0	49	54	4.4
26/02/2020	15:00	13.3	0	67	52	5.6
26/02/2020	16:00	13.3	0	61	88	2.3
26/02/2020	17:00	13.1	0	64	78	4.5
26/02/2020	18:00	12.4	0	67	95	1.2
26/02/2020	19:00	10.7	0	78	229	2.8
26/02/2020	20:00	9.9	3.1	78	19	2.4
26/02/2020	21:00	8.3	2	99	272	3
26/02/2020	22:00	8.3	0	100	275	1.8
26/02/2020	23:00	8.3	0	100	270	1.9

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>



Tabla 1.14: Datos meteorológicos correspondientes al 27 y 28 de febrero del 2020.

Estación : JULIACA						
Departamento : PUNO		Provincia : SAN ROMAN		Distrito : JULIACA		
Latitud : 15°28'15.8"		Longitud : 70°10'16.4"		Altitud : 3826 msnm.		
Tipo : EMA - Meteorológica		Código : 472CF2C				
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
27/02/2020	00:00	8	2.2	100	296	4.4
27/02/2020	01:00	7.1	1.8	100	303	1.9
27/02/2020	02:00	7.3	0	100	267	1.9
27/02/2020	03:00	7.2	0	100	242	1.6
27/02/2020	04:00	7	0	100	256	0.8
27/02/2020	05:00	7.1	0	100	228	0.3
27/02/2020	06:00	7	0	100	253	0
27/02/2020	07:00	7.9	0	99	291	0.2
27/02/2020	08:00	8.6	0	96	270	1.9
27/02/2020	09:00	10.1	0	84	227	0.8
27/02/2020	10:00	11.5	0	77	159	0.1
27/02/2020	11:00	12.5	0	66	223	0.7
27/02/2020	12:00	13.3	0	59	224	0.2
27/02/2020	13:00	14.7	0	54	255	1.3
27/02/2020	14:00	15.9	0	51	122	0.5
27/02/2020	15:00	16.7	0	49	130	1.6
27/02/2020	16:00	17.3	0	48	104	2.4
27/02/2020	17:00	16.2	0	53	90	2.2
27/02/2020	18:00	14.2	0	65	78	4.6
27/02/2020	19:00	11.5	0	72	214	6.9
27/02/2020	20:00	9.8	0	83	300	4.6
27/02/2020	21:00	9.3	0	87	182	1.7
27/02/2020	22:00	8.9	0.3	93	272	2
27/02/2020	23:00	8.3	0.3	100	245	2
28/02/2020	00:00	7.8	1.7	100	289	1.6
28/02/2020	01:00	7.6	1.3	100	251	2.3
28/02/2020	02:00	7.3	0	100	301	3.2
28/02/2020	03:00	7.2	0.3	100	279	1.8
28/02/2020	04:00	7.2	0.1	100	263	0.6
28/02/2020	05:00	7.1	0.1	100	264	1.2
28/02/2020	06:00	7.1	0.2	100	264	0.5
28/02/2020	07:00	7.6	0	100	270	2
28/02/2020	08:00	8.4	0	100	295	0.8
28/02/2020	09:00	10.2	0	89	191	0
28/02/2020	10:00	11.8	0	75	64	1.1
28/02/2020	11:00	13	0	70	57	1.4
28/02/2020	12:00	14.7	0	59	324	1.2
28/02/2020	13:00	15.6	0	53	8	0.3
28/02/2020	14:00	16.7	0	52	268	3.5
28/02/2020	15:00	16.6	0	56	15	1.6
28/02/2020	16:00	16.8	0	53	86	5.8
28/02/2020	17:00	15	0	60	78	4.7
28/02/2020	18:00	13.3	0	64	297	10.8
28/02/2020	19:00	10	0	85	282	5.8
28/02/2020	20:00	9.5	0	95	251	3.8
28/02/2020	21:00	9.3	0.2	91	258	1.8
28/02/2020	22:00	8.6	0.2	96	257	1.2
28/02/2020	23:00	8.2	0	100	210	0.2

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>



Tabla 1.15: Datos meteorológicos correspondientes al 29 de febrero del 2020.

Estación : JULIACA						
Departamento : PUNO		Provincia : SAN ROMAN		Distrito : JULIACA		
Latitud : 15°28'15.8"		Longitud : 70°10'16.4"		Altitud : 3826 msnm.		
Tipo : EMA - Meteorológica		Código : 472CF72C				
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
29/02/2020	00:00	8.3	0	100	259	1.7
29/02/2020	01:00	8.2	0	100	94	0
29/02/2020	02:00	7.9	0	100	353	0
29/02/2020	03:00	7.2	0.1	100	304	0
29/02/2020	04:00	7	0	100	74	0
29/02/2020	05:00	6.7	0	99	300	1.4
29/02/2020	06:00	6.2	0	99	304	0
29/02/2020	07:00	7.3	0	99	161	0.1
29/02/2020	08:00	9.9	0	99	182	0.1
29/02/2020	09:00	11.7	0	82	282	0
29/02/2020	10:00	13	0	72	123	2
29/02/2020	11:00	14.6	0	69	104	4.3
29/02/2020	12:00	15.7	0	60	94	3.9
29/02/2020	13:00	16.6	0	57	119	4.3
29/02/2020	14:00	16.7	0	56	107	4.3
29/02/2020	15:00	15.6	0	57	108	4.9
29/02/2020	16:00	14.5	0	59	87	3.7
29/02/2020	17:00	14.3	0	58	125	3
29/02/2020	18:00	13	0	67	125	2.3
29/02/2020	19:00	11.4	0	75	182	2.7
29/02/2020	20:00	10.8	0	69	170	1.6
29/02/2020	21:00	9.9	0	71	322	0
29/02/2020	22:00	9.7	0	75	284	0.2
29/02/2020	23:00	9.2	0	83	165	0

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>

Tabla 1.16: Resumen datos meteorológicos correspondientes a enero del 2018 hasta abril del 2019.

Estación : JULIACA		
Departamento : PUNO	Provincia : SAN ROMAN	Distrito : JULIACA
Latitud : 15°28'15.8"	Longitud : 70°10'16.4"	Altitud : 3826 msnm.
Tipo : EMA - Meteorológica	Código : 472CF72C	

MES / AÑO	CONDICIÓN	TEMPERATUR A (°C)	PRECIPITACIÓ N (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
Ene-18	Max	19.10	11.60	97.00	358.00	11.70
	Min	1.60	0.00	26.00	1.00	0.00
Feb-18	Max	18.50	7.20	97.00	356.00	11.10
	Min	3.30	0.00	28.00	1.00	0.00
Mar-18	Max	18.00	8.20	96.00	360.00	9.00
	Min	-0.40	0.00	22.00	1.00	0.00
Abr-18	Max	18.70	8.20	97.00	358.00	9.50
	Min	-3.40	0.00	16.00	3.00	0.00
May-18	Max	18.10	5.10	93.00	360.00	10.90
	Min	-3.00	0.00	7.00	1.00	0.00
Jun-18	Max	17.50	1.60	91.00	360.00	12.40
	Min	-3.90	0.00	11.00	1.00	0.00
Jul-18	Max	17.20	2.80	90.00	360.00	10.80
	Min	-4.00	0.00	8.00	1.00	0.00
Ago-18	Max	17.50	35.60	88.00	359.00	12.10
	Min	-3.10	0.00	5.00	1.00	0.00
Set-18	Max	18.30	0.20	81.00	357.00	12.70
	Min	-1.00	0.00	5.00	3.00	0.00
Oct-18	Max	19.20	4.90	89.00	359.00	9.80
	Min	-1.80	0.00	7.00	2.00	0.00
Nov-18	Max	18.30	6.80	91.00	360.00	10.20
	Min	1.20	0.00	6.00	1.00	0.00
Dic-18	Max	19.30	6.70	92.00	360.00	11.30
	Min	1.10	0.00	7.00	3.00	0.00
Ene-19	Max	18.40	10.30	93.00	360.00	10.60
	Min	2.30	0.00	22.00	2.00	0.00
Feb-19	Max	19.30	12.70	92.00	360.00	9.60
	Min	2.00	0.00	29.00	1.00	0.00
Mar-19	Max	19.30	7.10	91.00	360.00	9.80
	Min	1.10	0.00	31.00	3.00	0.00
Abr-19	Max	18.90	9.00	88.00	359.00	9.70
	Min	-0.90	0.00	21.00	1.00	0.00

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>

Tabla 1.17: Resumen datos meteorológicos correspondientes a mayo del 2019 hasta setiembre del 2020.

Estación : JULIACA						
Departamento : PUNO		Provincia : SAN ROMAN		Distrito : JULIACA		
Latitud : 15°28'15.8"		Longitud : 70°10'16.4"		Altitud : 3826 msnm.		
Tipo : EMA - Meteorológica		Código : 472CF72C				
MES / AÑO	CONDICIÓN	TEMPERATURA A (°C)	PRECIPITACIÓN N (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
May-19	Max	17.80	0.00	89.00	360.00	4.70
	Min	-1.50	0.00	14.00	16.00	0.00
Jun-19	Max	17.50	1.20	88.00	360.00	8.50
	Min	-3.30	0.00	9.00	1.00	0.00
Jul-19	Max	19.40	4.70	79.00	360.00	14.30
	Min	-3.90	0.00	5.00	1.00	0.00
Ago-19	Max	18.50	0.10	88.00	360.00	10.40
	Min	-2.90	0.00	5.00	1.00	0.00
Set-19	Max	18.30	4.80	86.00	360.00	11.30
	Min	-1.50	0.00	7.00	1.00	0.00
Oct-19	Max	17.80	14.70	85.00	360.00	10.10
	Min	-1.10	0.00	5.00	3.00	0.00
Nov-19	Max	19.00	8.10	91.00	359.00	13.60
	Min	-0.20	0.00	11.00	1.00	0.00
Dic-19	Max	19.10	8.50	89.00	359.00	9.90
	Min	2.70	0.00	25.00	1.00	0.00
Ene-20	Max	18.90	3.70	88.00	360.00	10.00
	Min	1.00	0.00	17.00	1.00	0.00
Feb-20	Max	19.50	9.40	100.00	360.00	10.80
	Min	4.00	0.00	42.00	2.00	0.00
Mar-20	Max	19.10	5.50	93.00	359.00	9.90
	Min	2.50	0.00	27.00	6.00	0.00
Abr-20	Max	18.70	4.90	94.00	359.00	9.50
	Min	-2.40	0.00	14.00	2.00	0.00
May-20	Max	18.50	2.80	89.00	360.00	10.00
	Min	-3.00	0.00	7.00	2.00	0.00
Jun-20	Max	18.80	0.10	85.00	360.00	8.00
	Min	-3.70	0.00	5.00	3.00	0.00
Jul-20	Max	18.40	0.00	78.00	357.00	9.90
	Min	-3.80	0.00	5.00	1.00	0.00
Ago-20	Max	19.50	0.00	81.00	357.00	12.00
	Min	-2.00	0.00	5.00	3.00	0.00
Set-20	Max	19.42	3.70	89.00	360.00	11.00
	Min	-1.70	0.00	17.00	1.00	0.00

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>

2. Catálogos de Selección de Elementos Constructivos.

Tabla 2.1: Selección de rejillas con dámper cortafuego ubicados en pared.

B x H	Q m ³ /h	FKA-EU		FKA 3.8	
		ΔP Pa	L _{WA} dB(A)	ΔP Pa	L _{WA} dB(A)
500 x 200	800	10	27	14	36
	1.000	15	33	22	40
	1.250	24	40	34	44
	1.500	34	45	48	47
500 x 250	1.250	10	29	12	35
	1.500	15	35	18	40
	1.750	20	39	24	44
	2.000	25	43	32	47
500 x 300	2.500	39	49	50	53
	1.500	6	27	7	32
	1.750	9	31	10	36
	2.000	11	35	13	39
500 x 350	2.500	17	41	20	45
	3.000	25	47	29	50
	2.000	6	29	8	36
	2.500	10	36	13	41
500 x 400	3.000	14	41	19	46
	3.500	19	45	26	50
	4.000	25	49	34	53
	2.500	6	31	9	38
500 x 450	3.000	9	36	13	43
	3.500	12	40	18	47
	4.000	16	44	23	50
	4.500	20	48	29	53
500 x 500	3.000	6	32	9	40
	3.500	8	36	12	43
	4.000	10	40	16	47
	4.500	13	43	20	50
	5.000	16	46	24	52
	6.000	24	52	35	57
500 x 500	3.500	6	33	8	40
	4.000	8	37	11	44
	4.500	10	40	14	47
	5.000	12	43	17	49
	6.000	17	48	25	54
	7.000	23	53	34	58
600 x 200	1.000	9	28	12	37
	1.250	14	35	19	41
	1.500	20	40	28	44
	1.750	27	44	38	47
600 x 300	2.000	7	30	7	34
	2.500	10	36	11	40
	3.000	15	41	17	45
	3.500	20	46	22	49
600 x 400	4.000	26	50	29	52
	3.500	7	35	10	42
	4.000	9	39	13	45
	4.500	12	42	17	48
600 x 500	5.000	14	45	21	51
	6.000	21	51	30	55
	4.500	6	35	8	42
	5.000	7	38	10	44
600 x 600	6.000	10	43	14	49
	7.000	14	47	19	53
	8.000	18	51	25	56
	6.000	6	37	7	43
600 x 600	7.000	8	41	9	47
	8.000	10	45	12	50
	9.000	13	49	16	53
	10.000	16	52	19	56
700 x 200	1.250	9	30	15	40
	1.500	13	35	22	43
	1.750	18	40	30	46
	2.000	23	44	39	48
700 x 300	3.000	10	37	13	43
	3.500	13	41	18	47
	4.000	17	45	23	50
	4.500	21	49	30	53
700 x 400	5.000	26	52	36	56
	4.000	6	35	10	43
	4.500	8	38	13	46
	5.000	9	41	16	49
	6.000	14	46	23	53
	7.000	19	51	32	57
700 x 500	5.000	5	33	8	43
	6.000	7	39	11	53
	7.000	9	43	15	51
	8.000	12	47	20	54
	9.000	15	50	25	57
	7.000	5	37	7	45
700 x 600	8.000	7	41	10	49
	9.000	9	44	12	52
	10.000	11	47	15	54
	12.500	17	54	24	60
700 x 700	9.000	5	39	9	49
	10.000	7	42	11	51
	12.500	10	49	17	57
	15.000	15	54	24	62

Q en m³/h

Caudal de aire

V_A en m/s

Velocidad aparente referida

a la

sección B x H

Δp en Pa

Pérdida de carga

L_{WA} en dB(A)

Nivel de potencia sonora

Fuente: Tablas de selección rápida de TROX TECHNIC.

Tabla 2.2: Selección de rejilla con dämper cortafuego ubicado en techo.

B x H	Q m ³ /h	FKA-EU		FKA 3.8		B x H	Q m ³ /h	FKA-EU		FKA 3.8	
		ΔP Pa	L _{WA} dB(A)	ΔP Pa	L _{WA} dB(A)			ΔP Pa	L _{WA} dB(A)		
1.000 x 700	10.000	3	31	4	44	1.200 x 200	2.250	9	31	13	43
	12.500	5	37	7	49		2.500	11	34	16	45
	15.000	7	43	10	54		3.000	16	39	22	48
	17.500	9	47	13	58		3.500	22	43	30	51
	20.000	12	51	17	61		4.000	28	47	40	53
1.000 x 800	15.000	4	38	7	51	1.200 x 300	5.000	8	35	9	46
	17.500	6	43	10	55		6.000	12	40	13	51
	20.000	8	47	13	58		7.000	16	45	18	53
	22.500	10	50	16	61		8.000	21	49	24	56
	25.000	12	53	20	64		9.000	26	52	30	59
1.100 x 200	2.000	9	30	13	42	1.200 x 400	7.000	6	34	12	46
	2.250	11	33	16	44		8.000	7	38	13	49
	2.500	13	36	20	46		9.000	9	41	17	52
	3.000	19	41	28	49		10.000	11	44	21	55
	3.500	26	46	38	52		12.500	18	51	33	60
1.100 x 300	4.000	6	31	7	40	1.200 x 500	9.000	5	34	6	46
	5.000	10	38	12	46		10.000	6	37	10	49
	6.000	14	43	17	51		12.500	9	43	12	54
	7.000	19	47	23	48		15.000	13	48	18	59
	8.000	24	51	30	58		17.500	17	53	24	63
1.100 x 400	7.000	7	37	10	48	1.200 x 600	12.500	5	37	6	48
	8.000	9	41	13	51		15.000	7	42	9	53
	9.000	11	44	17	54		17.500	10	47	12	57
	10.000	14	47	21	57		20.000	13	51	16	60
	12.500	21	53	33	62		22.500	16	54	20	63
1.100 x 500	8.000	4	33	6	45	1.200 x 700	17.500	6	42	8	54
	9.000	5	36	8	48		20.000	8	46	11	57
	10.000	7	39	10	50		22.500	10	49	14	60
	12.500	10	46	16	56		25.000	13	52	17	63
	15.000	15	51	22	61		27.500	15	55	21	67
1.100 x 600	10.000	4	33	5	45	1.200 x 800	20.000	5	41	8	54
	12.500	6	40	8	50		22.500	7	45	10	57
	15.000	9	45	11	55		25.000	9	48	12	60
	17.500	12	49	15	59		27.500	10	51	15	64
	20.000	15	53	20	62		30.000	12	53	18	65
1.100 x 700	12.500	4	35	5	47	1.300 x 200	2.500	10	31	16	45
	15.000	5	40	8	52		3.000	14	37	22	48
	17.500	7	44	11	56		3.500	18	41	30	51
	20.000	10	48	14	59		4.000	24	45	40	53
	22.500	12	51	18	62		4.500	30	48	50	56
1.100 x 800	17.500	5	40	8	53	1.300 x 300	6.000	10	38	13	49
	20.000	6	44	10	56		7.000	13	43	18	53
	22.500	8	47	13	59		8.000	18	46	24	56
	25.000	10	50	16	62		9.000	22	50	30	59
	27.500	12	53	19	64		10.000	27	53	37	62

Q en m³/h
Caudal de aire
V_A en m/s
Velocidad aparente referida
a la
sección B x H

Δp en Pa
Pérdida de carga
L_{WA} en dB(A)
Nivel de potencia sonora

Fuente: Tablas de selección rápida de TROX TECHNIC.

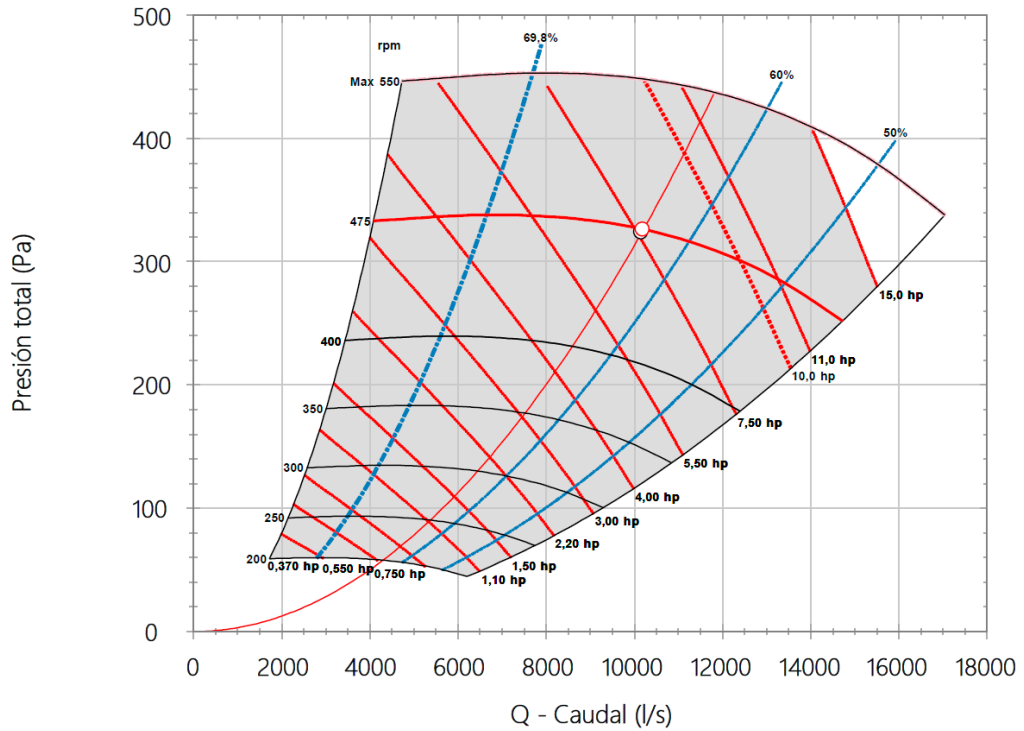
Tabla 2.3: Dimensiones estándares de planchas de fierro galvanizado.

SISTEMA METRICO			SISTEMA INGLES, REFERENCIAL			PESOS TEORICOS		AREA DE PLANCHA	
Espesor mm	Ancho mm	Largo mm	Espesor	Ancho pie	Largo pie	kg/plancha	kg/m ²	m ²	pie ²
0.40	1200	2400	1/64"	4	8	9.562	3.320	2.88	31.0
0.45	1200	2400	1/57"	4	8	10.692	3.713	2.88	31.0
0.50	1200	2400	1/54"	4	8	11.822	4.105	2.88	31.0
0.55	1200	2400	1/46"	4	8	12.953	4.498	2.88	31.0
0.60	1200	2400	1/40"	4	8	14.083	4.890	2.88	31.0
0.60	1200	2400	1/40"	4	8	14.083	4.890	2.88	31.0
0.65	1200	2400	1/40"	4	8	15.214	5.283	2.88	31.0
0.70	1200	2400	1/36"	4	8	16.344	5.675	2.88	31.0
0.75	1200	2400	1/34"	4	8	17.474	6.068	2.88	31.0
0.80	1200	2400	1/32"	4	8	18.605	6.460	2.88	31.0
0.85	1200	2400	1/30"	4	8	19.735	6.853	2.88	31.0
0.90	1200	2400	1/27"	4	8	20.866	7.245	2.88	31.0
1.00	1200	2400	1/24"	4	8	23.126	8.030	2.88	31.0
1.15	1200	2400	1/22"	4	8	26.518	9.208	2.88	31.0
1.20	1200	2400	1/20"	4	8	27.648	9.600	2.88	31.0
1.45	1200	2400	1/18"	4	8	33.300	11.563	2.88	31.0
1.50	1200	2400	1/16"	4	8	34.430	11.955	2.88	31.0
1.90	1200	2400	3/49"	4	8	43.474	15.095	2.88	31.0
2.00	1200	2400	5/64"	4	8	45.734	15.880	2.88	31.0

Fuente: Catálogo de selección de planchas galvanizadas – TUBISA S.A.C. PERÚ.

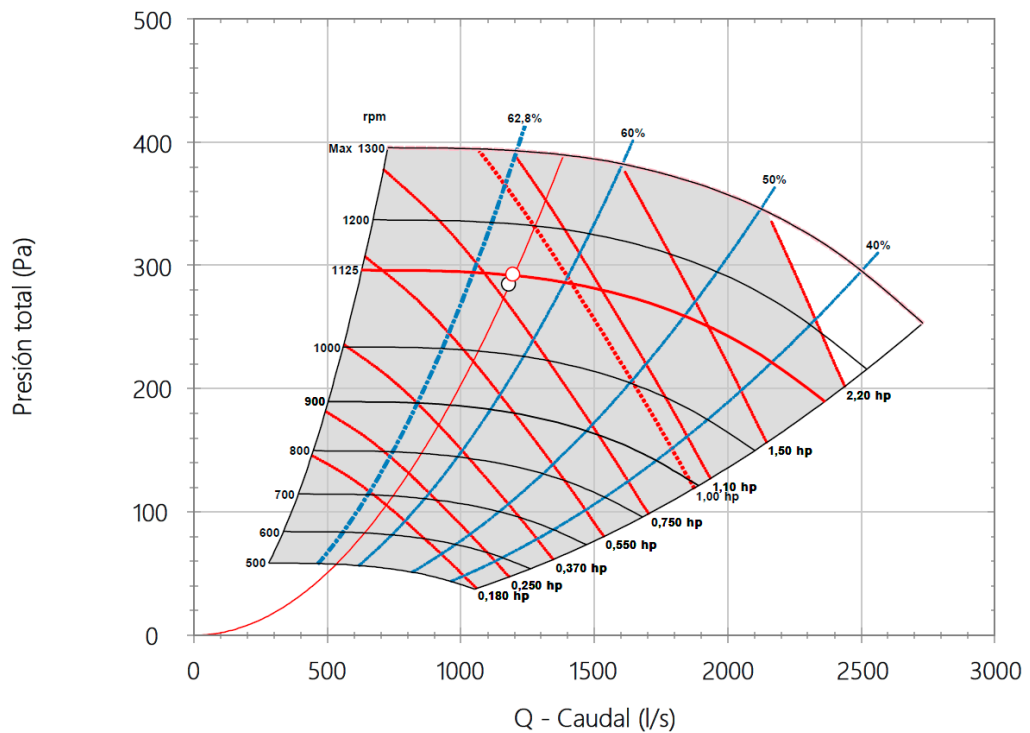
3. Curvas de Operación de Equipos Seleccionados.

Fig. 3.1: Punto de operación de IC-E.01.



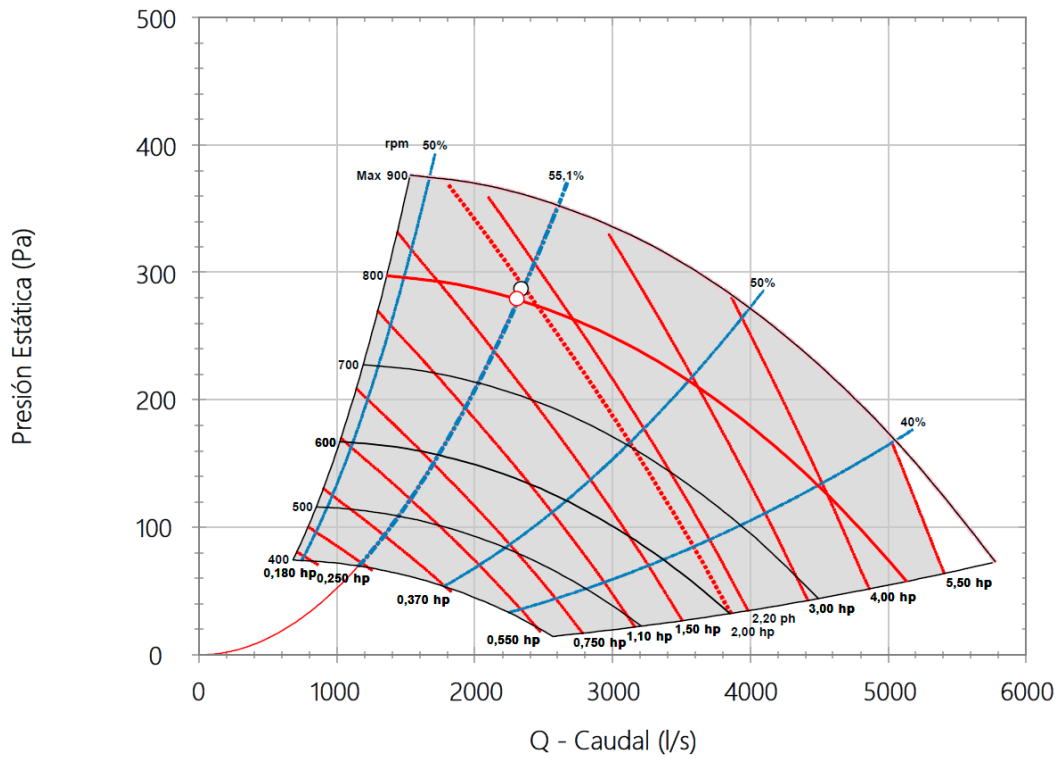
Fuente: Selector de ventiladores de Soler & Palau.

Fig. 3.2: Punto de operación de IC-E.02.



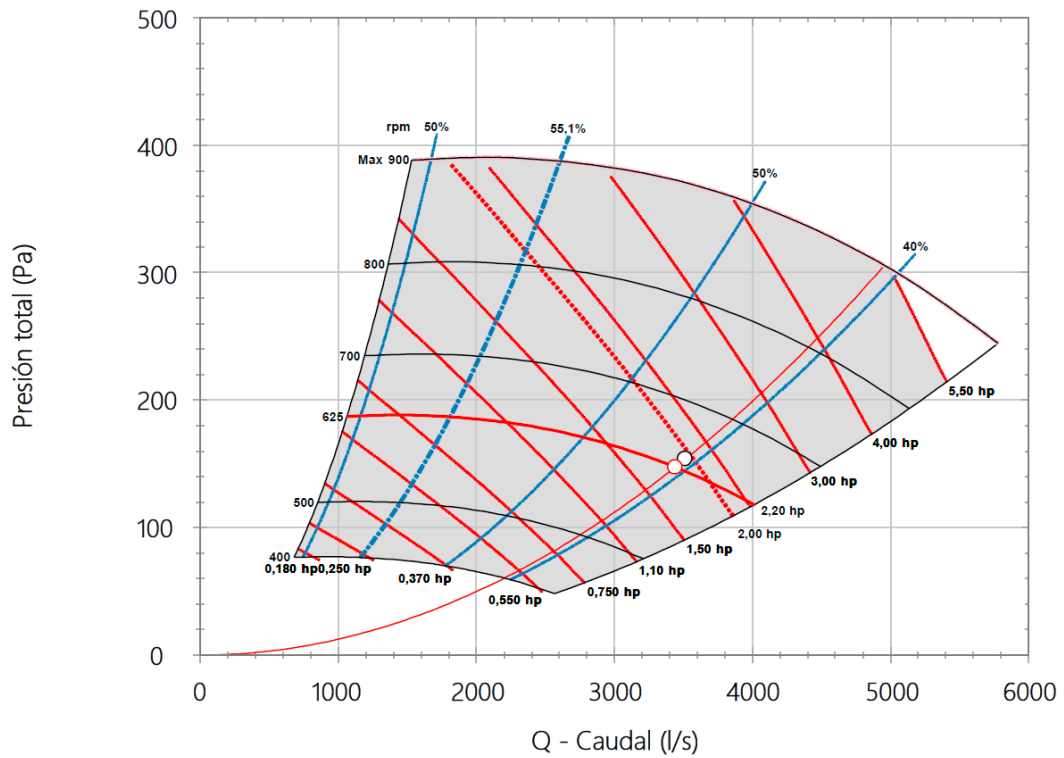
Fuente: Selector de ventiladores de Soler & Palau.

Fig. 3.3: Punto de operación de IC-E.03.



Fuente: Selector de ventiladores de Soler & Palau.

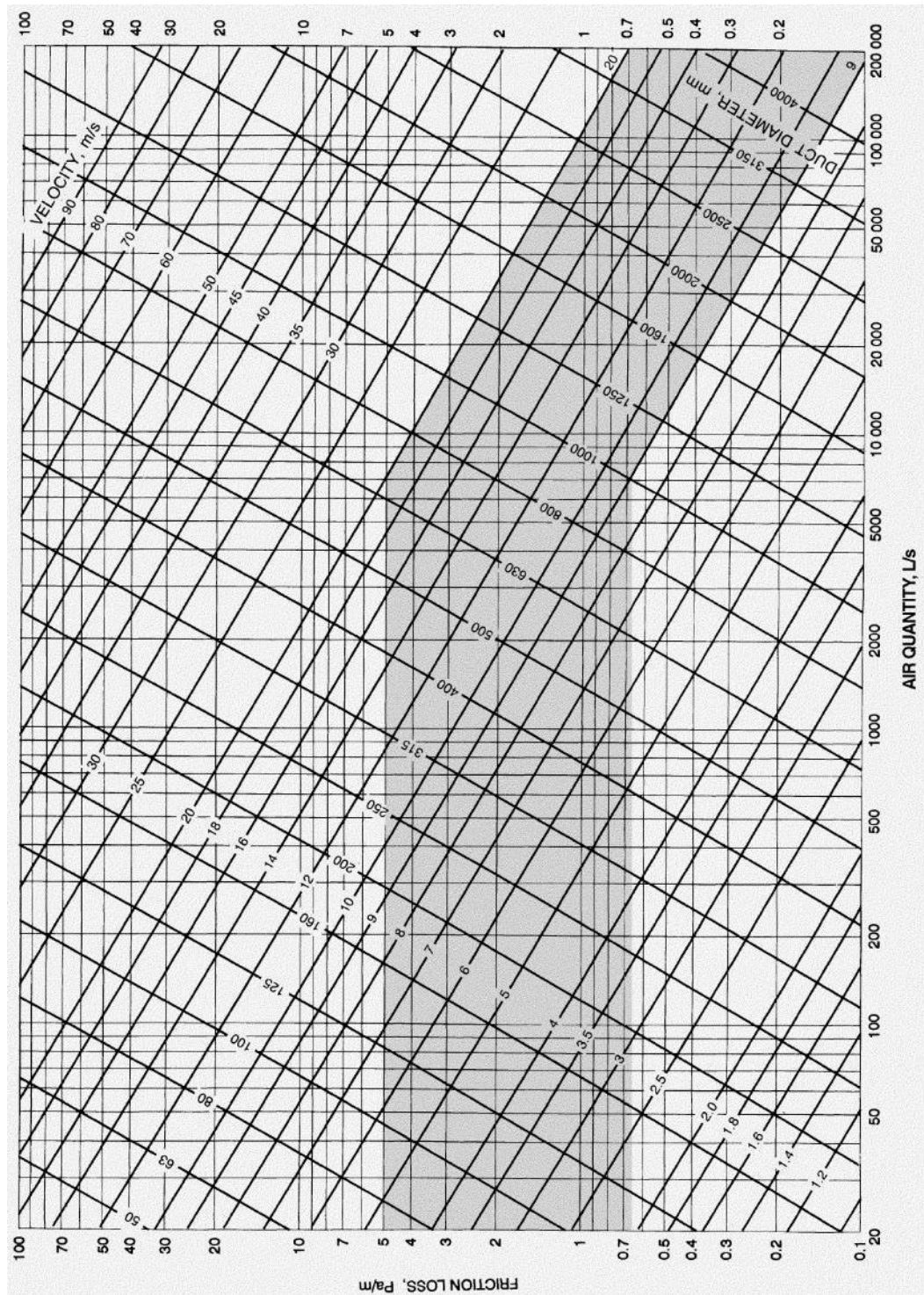
Fig. 3.4: Punto de operación de EC-E.04.



Fuente: Selector de ventiladores de Soler & Palau.

4. Carta de Fricción Para Conductos Circulares.

Fig. 4.1: Carta de fricción en condiciones estándares.



Friction Chart for Round Duct ($\rho = 1.20 \text{ kg/m}^3$ and $\epsilon = 0.09 \text{ mm}$)

Fuente: ASHRAE Handbook – Fundamentals S.I. (p. 21.08), ASHRAE, 2009.