DETERMINACIÓN DE LOS EQUIPOS DE VENTILACIÓN NECESARIOS PARA INTERCAMBIO DE AIRE EN LA FACULTAD DE ARTES ASAB

Autor del proyecto:

ERNESTO DEL SALVADOR PÉREZ PATIÑO

Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero Mecánico

Director del proyecto:

CAMILO ANDRES ARIAS HENAO
PhD. Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD DISTRITAL - FRANCISCO JOSE DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR DE MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2023

TABLA DE CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **1**

1.1. ESTADO DEL ARTE 3

1.1.1. Diseño del Sistema de Climatización y Ventilación Mecánica de un Edificio Administrativo. 3

1.1.2. Diseño del sistema de ventilación forzada para la extracción de baños del edificio "La Paz" en el distrito de Miraflores Lima. 4

1.1.3. Diseño de un sistema de ventilación mecánica para asegurar la concentración permisible de monóxido de carbono en el estacionamiento subterráneo del edificio de la Escuela Nacional de Control de la Contraloría General de la Republica. 6

1.2. JUSTIFICACIÓN 9

2. OBJETIVOS **10**

2.1. OBJETIVO GENERAL 10

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 10

3. MARCO TEÓRICO **11**

3.1. El aire 11

3.2. La ventilación 12

3.2.1. Conceptos y magnitudes. 12

3.3. Circulación de aire por conductos 14

3.3.1. Pérdida de carga 14

3.3.2. Cálculo de pérdida de carga método del coeficiente «n» 17

3.4. Sistemas de ventilación 18

3.4.1. Según la forma de disposición del recinto 19

3.4.1.1. Ventilación natural 19

3.4.1.2. Ventilación mecánica 19

3.4.2. Según el origen de la contaminación 19

3.4.2.1. Ventilación exterior 19

3.4.2.2. Ventilación localizada total 20

3.4.3. Según los equipos de ventilación a usar 21

3.4.3.1. Por sobrepresión 21

3.4.3.2. Por depresión 22

3.4.3.3. Mixta 23

3.5. Ventiladores 23

3.5.1. Tipos de ventiladores 23

3.5.1.1. Ventiladores axiales 23

3.5.1.2. Ventiladores centrífugos 25

3.5.2. Curva característica de un ventilador 28

3.5.3. Punto de trabajo 30
4. METODOLOGÍA **32**
5. PRESUPUESTO **33**
6. RECONOCIMIENTO DE SISTEMAS DE VENTILACIÓN ACTUALES **34**
6.1. Identificación de sistemas de ventilación 34
6.2. Medición de conductos de ventilación 38
6.3. Medición de área transversal y velocidad de aire en las rejillas de extracción y difusores de suministro 42
6.4. Caracterización de los equipos de ventilación actuales 46
7. CALCULO Y DETERMINACIÓN DE EQUIPOS REQUERIDOS POR SISTEMA **48**
7.1. Determinación del caudal requerido por zona 48
7.2. Cálculo de pérdida de carga por conductos 51
7.3. Curva característica de los sistemas 57
8. SELECCIÓN DE EQUIPOS DE VENTILACIÓN **61**
8.1. Selección de equipos ofertados en el comercio 61
8.2. Matriz de decisión 75
8.3. Selección de equipos 77
8.4. Comparación de equipos 79
9. CONCLUSIONES **80**
10. REFERENCIAS **81**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características eléctricas de los motores de los equipos actuales 1
Tabla 2. Calificación para la matriz de decisión 3
Tabla 3. Matriz de decisión 3
Tabla 4. Características técnicas extractores de baño FUTURE S&P® 5
Tabla 5. Requerimientos de ventilación por vehículo en un estacionamiento 6
Tabla 6. Renovaciones de aire por hora para estacionamientos sin ventilación natural 7
Tabla 7. Dimensiones de ductos en tramos del estacionamiento 1 7
Tabla 8. Características de los ventiladores de extracción seleccionados 8
Tabla 9. Características de los ventiladores de inyección seleccionados 8
Tabla 10. Componentes del aire seco 11
Tabla 11. Caudales de suministro y extracción sistemas de ventilación ASAB 47
Tabla 12. Ratas mínimas de ventilación en zonas de respiración 48
Tabla 13. Caudales de aire requeridos por sistemas 1, 3, 4 y 5 49
Tabla 14. Renovaciones para locales de permanencia y de trabajo 50
Tabla 15. Caudales de aire requeridos por sistema 2 50
Tabla 16. Diámetro equivalente de conductos internos ASAB 52
Tabla 17. Pérdida de carga de conductos rígidos 52
Tabla 18. Presión dinámica por sistema 55
Tabla 19. Tabulación de curva característica sistema Ventilador 1 58
Tabla 20. Tabulación de curva característica sistema Ventilador 2 58
Tabla 21. Tabulación de curva característica sistema Ventilador 3 59
Tabla 22. Tabulación de curva característica sistema Ventilador 4 59
Tabla 23. Tabulación de curva característica sistema Ventilador 5 60
Tabla 24. Calificación de matriz de decisión ventiladores 75
Tabla 25. Matriz de decisión ventilador 1 76
Tabla 26. Matriz de decisión ventilador 2 76
Tabla 27. Matriz de decisión ventilador 3 76
Tabla 28. Matriz de decisión ventilador 4 77
Tabla 29. Matriz de decisión ventilador 5 77
Tabla 30. Ventiladores seleccionados OPCION 1 78
Tabla 31. Ventiladores seleccionados OPCION 2 78
Tabla 32. Comparación de equipos actuales y nuevos (propuestos) 79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Sinopsis tabla 10 11
Ilustración 2. Movimiento del aire a través de un conducto 12
Ilustración 3. Presión dinámica del aire en función de su velocidad 13
Ilustración 4. Conductos circulares rectilíneos pérdida de carga por rozamiento de aire 15
Ilustración 5. Diámetro equivalente de un conducto rectangular con igual pérdida de carga 16
Ilustración 6. Relación de presión dinámica, caudal y diámetro para conductos circulares 17
Ilustración 7. Pérdida de carga en accidentes de ductos rectangulares 18
Ilustración 8. Ventilación común en el ambiente 19
Ilustración 9. Ventilación exterior 20
Ilustración 10. Ventilación localizada total 21
Ilustración 11. Ventilación por sobrepresión 22
Ilustración 12. Ventilación por depresión 22
Ilustración 13. Ventilador axial con aletas guía 24
Ilustración 14. Ventilador tubo axial 24
Ilustración 15. Ventilador helicoidal 25
Ilustración 16. Ventilador centrifugo 25
Ilustración 17. Rotor con alabes de grosor uniforme 26
Ilustración 18. Rotor con alabes aerodinámicos 26
Ilustración 19. Rotor con alabes radiales 27
Ilustración 20. Rotor con alabes radiales modificados 27
Ilustración 21. Pérdida de caudal con la longitud 28
Ilustración 22. Curva característica de un ventilador 29
Ilustración 23. Punto de trabajo de un ventilador 30
Ilustración 24. Registro fotográfico sistema Ventilador 1 34
Ilustración 25. Registro fotográfico sistema Ventilador 2 35
Ilustración 26. Registro fotográfico sistema Ventilador 3 36
Ilustración 27. Registro fotográfico sistema Ventilador 4 37
Ilustración 28. Registro fotográfico sistema Ventilador 5 38
Ilustración 29. Medición de área transversal de ductos de suministro Ventilador 1 39
Ilustración 30. Medición de área transversal de ductos de extracción Ventilador 2 39
Ilustración 31. Medición de área transversal de ductos de toma de aire exterior Ventilador 3 40
Ilustración 32. Medición de área transversal de ductos de suministro Ventilador 3 40
Ilustración 33. Medición de área transversal de ductos de toma de aire exterior Ventilador 4 41
Ilustración 34. Medición de área transversal de ductos de suministro Ventilador 4 41
Ilustración 35. Medición de área transversal de ductos de toma de aire exterior Ventilador 5 42
Ilustración 36. Medición de área transversal de ductos de suministro Ventilador 5 42
Ilustración 37. Medición de velocidad en rejilla externa (toma de aire) Ventilador 1 43
Ilustración 38. Medición de tamaño en rejilla de suministro interna Ventilador 1 43
Ilustración 39. Medición de velocidad en rejilla de suministro interna Ventilador 1 44
Ilustración 40. Medición de velocidad en rejilla externa (extracción de aire) Ventilador 2 44
Ilustración 41. Medición de velocidad en difusores (suministro de aire) Ventilador 3 45

Ilustración 42. Medición de velocidad en rejillas (suministro de aire) Ventilador 4 45
Ilustración 43. Medición de velocidad en difusores (suministro de aire) Ventilador 4 46
Ilustración 44. Medición de velocidad en difusores (suministro de aire) Ventilador 5 46
Ilustración 45. Curva característica sistema Ventilador 1 58
Ilustración 46. Curva característica sistema Ventilador 2 58
Ilustración 47. Curva característica sistema Ventilador 3 59
Ilustración 48. Curva característica sistema Ventilador 4 59
Ilustración 49. Curva característica sistema Ventilador 5 60

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El actual proyecto plantea una problemática presente en los sótanos de la facultad de artes ASAB de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, existente en estas instalaciones desde sus primeros años de puesta en servicio; se trata del incorrecto diseño e instalación del sistema de ventilación para cada una de las áreas de ocupación de personas en esta institución.

Los sistemas de ventilación deberían cumplir con unas renovaciones de aire mínimas en cada área, lo cual no sucede actualmente. De los 5 sistemas identificados 4 de ellos solo suministran aire, el cual se estanca en los espacios donde es depositado, además, el aire se contamina y después de un tiempo prolongado estando dentro de estas áreas las personas pueden sufrir afecciones en su salud. En cuanto al equipo que extrae aire de los baños las rejillas no están correctamente distribuidas y su capacidad es insuficiente.

Adicionalmente, los actuales equipos que están suministrando aire no tienen la capacidad necesaria para entregar el caudal requerido en cada una de las áreas, a simple vista se puede observar dentro del auditorio, los salones y el teatrino que el aire que ingresa desde estos sistemas es casi nulo. De igual forma, el equipo de extracción tiene capacidad insuficiente para las áreas contempladas.

Los sistemas de ventilación de la ASAB son ineficaces, están deteriorados, no existe una renovación de aire en ningún espacio, en otras palabras, no hay una entrada de aire del exterior y una salida de aire “contaminado” de forma periódica, incumpliendo normativas técnicas, al mismo tiempo que se pone en riesgo la salud de los estudiantes, docentes y colaboradores que pasan gran parte de su tiempo en esta sede.

Existen 4 sistemas compuestos cada uno por 1 ventilador tipo centrifugo con motor externo y una red de conductos galvanizados; estos pretenden suministrar aire proveniente del exterior hacia el auditorio, los salones del costado sur y el teatrino, además, existe un 5to sistema compuesto igual que los anteriores, el cual extrae aire de los baños, del pasillo en frente del auditorio y una oficina administrativa.

De estos equipos, se logró hacer un levantamiento de las características eléctricas de los motores, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Características eléctricas de los motores de los equipos actuales

Ubicación	Función	Zona ventilada	Potencia (HP)	RPM	Voltaje
Cocina	SUM	Auditorio	1.5/1.8	1680	220
Baños Hombres	EXT	Baños, pasillo, administración	2.7/2.9	1725	220
Salón S02	SUM	Salones	1.5/1.8	1680	220
Salón J03	SUM	Salones	1.5	1650	220
Enjunta	SUM	Teatrino	No visible	No visible	No visible

Fuente: Elaboración propia

Durante el ejercicio de identificación y análisis de los sistemas de ventilación se registró la velocidad del aire con un anemómetro en cada difusor y rejilla accesible. La rejilla de toma de aire exterior del sistema del auditorio mostro un valor extremadamente bajo de caudal concorde al área que se pretende ventilar, dando alerta que en esa zona la entrada de aire es ínfima. La situación se repite midiendo sobre la rejilla de extracción de aire asignada al sistema de los baños, mostrando una extracción insignificante. Respecto a las demás rejillas de toma de aire exterior de los 3 sistemas restantes se desconoce su acceso para toma de datos.

Debido a esta situación, se tienen consecuencias como:

- El teatrino está fuera de servicio, ya que se concentra la humedad en el área.
- En los salones se hace uso de equipos de aire acondicionado portátiles porque la temperatura aumenta cada vez que los estudiantes hacen sus ensayos, sin embargo, estos equipos también tienen baja capacidad para las áreas donde se ubican, asimismo aumentan el consumo eléctrico en la sede.
- En el auditorio la sensación de confort térmico es escasa, y en ocasiones los estudiantes presentan somnolencia.

La administración de la facultad de artes ha estado buscando una solución a esta situación, a partir de allí nace este proyecto, con el objetivo de presentar una propuesta de diseño y la selección de los equipos de ventilación que permitirán alcanzar la calidad de aire requerida en el auditorio, los salones, el teatrino y los baños de la ASAB.

1.1. ESTADO DEL ARTE

1.1.1. Diseño del Sistema de Climatización y Ventilación Mecánica de un Edificio Administrativo.

El proyecto expone la realización del calculo y diseño de un sistema de refrigerante variable (VRF) y ventilación mecánica del edificio administrativo de una empresa en la ciudad de Guayaquil, debido a la inherente necesidad de reemplazar los equipos existentes por su vida útil expirada.

Para tal fin, se siguió la siguiente metodología propuesta por (Freile, 2015): definición de los parámetros de diseño, calculó de cargas térmicas de cada área del edificio, validación de los cálculos mediante el software gratuito Block Load. Luego, se seleccionaron los principales equipos del sistema usando el software de York®, *JCI VRF Selection Software*. Además, se seleccionaron los materiales para las tuberías. Por último, se realizó un análisis económico del proyecto.

Se realizó una matriz de decisión para seleccionar el tipo de sistema a diseñar, entre sistemas de refrigerante y sistemas todo agua, mientras se comparaban las variables de consumo eléctrico, eficiencia, área de instalación, ruido, costo de instalación, control de temperaturas y control de humedad, tomando como parámetro de calificación la siguiente matriz:

Tabla 2. Calificación para la matriz de decisión

Excelente	E	5
Muy bueno	M	4
Adecuado	A	3
Bajo	B	2

Fuente: (Freile 2015)

Al final del ejercicio se escogió el sistema de refrigerante basado en los resultados mostrados a continuación:

Tabla 3. Matriz de decisión

CRITERIOS	SISTEMA REFRIGERANTE	SISTEMA TODO AGUA
Consumo Eléctrico	5	4
Eficiencia	5	3
Área de Instalación	4	2
Ruido	5	4
Costo de instalación	1	5
Control de temperatura	5	4
Control de humedad	4	4
Total	32	30

Fuente: (Freile 2015)

Abordando la metodología llevada a cabo en este proyecto, se calculó la carga térmica en cada área donde luego se realizó la sumatoria de todas las cargas de acuerdo a su tipificación: por estructuras interiores y exteriores, por alumbrado, por personas, por aparatos electrónicos, por infiltraciones y por ventilación.

En el caso de la carga térmica por ventilación en el auditorio, se calculó con base en los siguientes valores y consideraciones rigiéndose por el estándar ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción refrigeración y acondicionamiento de aire Inc., 2011):

- El auditorio debe tener un cambio de aire CA = 10
- Consta con volumen V = 33318.68[ft^3]
- El valor del flujo de aire en CFM se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$CFM = \frac{CA*V}{60} = \frac{10*33318.68[ft^3]}{60\ min} \quad \textbf{EC. 1}$$

$$CFM = 5553.11\left[\frac{ft^3}{min}\right]$$

Habiendo calculado los CFM necesarios para dicha área, se procede a determinar la carga térmica de calor por ventilación que luego será sumada a las demás cargas para obtener una carga neta del área; esta carga establecerá la capacidad necesaria del equipo.

El ejercicio se repite con todos los espacios en cuestión, haciendo una selección de equipos para cada área los cuales puedan suplir las necesidades térmicas y de ventilación correspondientes, por último, se elabora un presupuesto que contempla los equipos a comprar.

La tesis que presenta Freile aporta una visión de la metodología a seguir en la realización de los cálculos de ventilación por carga térmica que funcionaran para seleccionar equipos de ventilación y refrigeración de acuerdo a la necesidad de los espacios involucrados. Apoyados en este trabajo se pueden adaptar algunas estrategias que ayuden a alcanzar el objetivo planteado en nuestro propio proyecto.

1.1.2. Diseño del sistema de ventilación forzada para la extracción de baños del edificio “La Paz” en el distrito de Miraflores Lima.

En el proyecto relacionado se describe el diseño de un sistema de ventilación forzada de extracción para los baños de una edificación, basado en los cálculos de ingeniería correspondientes en esta aplicación; buscando garantizar el intercambio de aire poco deseable por otro de mejor calidad. Este proceso supone renovar, remover y expulsar para mantener la calidad del aire de los servicios higiénicos, asegurando la salud de los residentes y mejorando el funcionamiento y conservación del inmueble.

Para tal fin, se adoptó la metodología planteada por (E. Martinez, 2019) de calcular por cada baño el caudal a extraer una vez que se tenía claro su volumen y las renovaciones por hora exigidas en la norma técnica (Norma tecnica E.M. 030 instalaciones de ventilacion, 2008), para ello, se tomó como base la siguiente ecuación:

$$Q = V * N * f \quad \textbf{EC. 2}$$

Determinación del caudal de aire a extraer en baño 1 de acuerdo a la ecuación anterior:

Q = Caudal de aire
V = Volumen total del cuarto de baño = 4.75 m³
N = Renovaciones de aire por hora = 20 renov. / hr
f = factor de conversión para CFM = 0.58858

$$Q = 4.75 * 20 * 0.58858 = 55.91\ CFM$$

El mismo procedimiento se repitió para los demás baños obteniendo los siguientes valores de caudal:

Baño 2: $Q = 39.91\ CFM$
Baño 3: $Q = 102.88\ CFM$
Baño 4: $Q = 146.91\ CFM$

A partir de los valores calculados se hizo la selección de los respectivos equipos que se instalarían en el sistema de extracción, siendo la línea FUTURE de Soler & Palau® la opción más conveniente.

Se seleccionaron (2) extractores *FUTURE 100* para los baños 1 y 2, (1) extractor *FUTURE 120* para el baño 3 y (1) extractor *FUTURE 150* para el baño 4 con base en la ficha técnica de esta línea.

Tabla 4. Características técnicas extractores de baño FUTURE S&P®

Modelo	Velocidad RPM	Potencia W	Tensión Volts	Caudal a descarga libre m³/hr / CFM	Presión sonora dB(A)*	Peso aprox. Kg
FUTURE 100	2500	13	127	95 / 56	40	0.5
FUTURE 120	2500	28	127	185 / 109	46	0.7
FUTURE 150	2450	34	127	300 / 176	47	09

Fuente: (Soler&Palau ventilation group)

Por razones como el costo, el consumo energético, nivel sonoro, peso, facilidad de instalación y mantenimiento, se tomo la decisión de seleccionar estos equipos, después de haber verificado las necesidades técnicas para solucionar la extracción de aire nocivo en los baños en cuestión.

Este trabajo de Martínez muestra los cálculos y la selección que se deben realizar tratándose de equipos de extracción para baños a fin de garantizar una calidad de aire correcta basada en estándares locales. A partir de estos, se puede acoger la metodología usada y aplicarla en nuestro propio proyecto para el caso específico de mejorar la calidad de aire en los baños en la facultad de artes ASAB.

1.1.3. Diseño de un sistema de ventilación mecánica para asegurar la concentración permisible de monóxido de carbono en el estacionamiento subterráneo del edificio de la Escuela Nacional de Control de la Contraloría General de la Republica.

Este proyecto tiene como objetivo principal el diseño de un sistema de ventilación mecánica para controlar la concentración máxima permisible de monóxido de carbono en el estacionamiento subterráneo del sótano 1, 2, 3 y 4 para el edificio de la Escuela Nacional de Control de la Contraloría General de la Republica, buscando así proteger y salvaguardar la salud integral de los ocupantes dentro del ambiente, por lo que se debe suministrar un aire limpio y de calidad. (Marcial Valladares, 2019)

Para alcanzar este fin, se plantearon los siguientes objetivos:

- Definir el caudal de aire requerido para asegurar la concentración de monóxido de carbono sea por debajo de nivel permisible.
- Diseñar un apropiado sistema de ductos que permite extraer y guiar adecuadamente el aire contaminado hacia el exterior e ingresar el aire limpio a los estacionamientos.
- Elegir los equipos y accesorios precisos para permitir el buen funcionamiento del sistema diseñado.

Para el primer objetivo, se calculó el caudal de aire requerido evaluando los métodos de caudal de aire sugerido, caudal por renovaciones de aire y caudal por norma ASHRAE.

De acuerdo al proyecto de (Marcial Valladares, 2019), se tienen 66 estacionamientos por cada sótano, además, el requisito de caudal por cada estacionamiento se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5. Requerimientos de ventilación por vehículo en un estacionamiento

Estándar	Caudal (l/s*estacionamiento)
Francia	165
UNE	210

Fuente: (Marcial Valladares, 2019)

A partir de estas consideraciones se calculo el caudal de aire recomendado en cada sótano así:

$$Caudal\ recomendado = 66\ estacionamientos * 165\frac{l}{s}$$

$$Caudal\ recomendado = 10890\frac{l}{s}$$

Sabiendo que el área de cada sótano es $1864m^2$, se realizó el cálculo con el segundo método considerando las renovaciones bajo los siguientes estándares:

Tabla 6. Renovaciones de aire por hora para estacionamientos sin ventilación natural

Estándar o autor	Renovaciones
BOCA	6
NFPA	6
Reino Unido	6-10
S. Escoda	6-8
SBCCI	6-7
Soler & Palau	6-8

Fuente: (Marcial Valladares, 2019)

$$Caudal\ por\ renovaciones\ de\ aire = Area * Altura * 5\frac{renv}{h} \quad \textbf{EC. 3}$$

$$Caudal\ por\ renovaciones\ de\ aire = 1864m^2 * 3m * 5\frac{renv}{h}$$

$$Caudal\ por\ renovaciones\ de\ aire = 27960\frac{m^3}{h} = 7766.66\frac{l}{s}$$

En el segundo objetivo, luego de los procedimientos respectivos se obtuvo la siguiente tabla para cada tramo de ductos basado en los planos de diseño correspondientes:

Tabla 7. Dimensiones de ductos en tramos del estacionamiento 1

Tramo	Flujo de aire (pie³/min)	Longitud del conducto (m)	Diámetro equivalente (pulg)	Sección del conducto (pulg x pulg)	Pérdida de presión (pulg. H2O)
AB-HI	1017	4,56	10	11" x 10"	0,00718
BC-IJ	2034	5	14	16" x 14"	0,00787
CD-JK	3051	5,23	20	22" x 20"	0,00823
DE-KL	4068	5,56	22	24" x 22"	0,00875
EF-LM	5085	4,96	24	28" x 26"	0,00781
FG-MN	6102	5,75	26	30" x 28"	0,00905
PQ	1017	4,56	10	11" x 10"	0,00718
QR	2034	5	14	16" x 14"	0,00787
RS	3051	5,23	20	22" x 20"	0,00823
UT	18306	7	43	48" x 44"	0,0110

Fuente: (Marcial Valladares, 2019)

Por último, se logró seleccionar los equipos con las características requeridas para la extracción de monóxido de carbono en los sótanos y renovación de aire.

Tabla 8. Características de los ventiladores de extracción seleccionados

Parámetro	Unidad	Sótanos 1,2,3,4	
		Extractor 1	Extractor 2
Marca	-	LOREN COOK	LOREN COOK
Modelo	-	402QMX	402QMX
Potencia del motor	HP	30	30
Velocidad de giro	rpm	1725	1725
Ruido	dBA	91	91
Transmisión	-	Faja y polea	Faja y polea

Fuente: (Marcial Valladares, 2019)

Tabla 9. Características de los ventiladores de inyección seleccionados

Parámetro	Unidad	Sótanos 1,2,3,4	
		Inyector 1	Inyector 2
Marca	-	LOREN COOK	LOREN COOK
Modelo	-	402 CPS	402 CPS
Potencia del motor	HP	15	15
Velocidad de giro	rpm	1725	1725
Ruido	dBA	91	91
Transmisión	-	Faja y polea	Faja y polea

Fuente: (Marcial Valladares, 2019)

El diseño del sistema de ventilación que se hizo, se concluye, es bastante efectivo, porque según las pruebas realizadas, el aire que circula dentro de los estacionamientos es más limpio y de calidad para los usuarios en un valor de CO por debajo de 25 ppm (partes por millón).

Este documento es de gran utilidad para el desarrollo de la presente tesis de grado, en este, es posible recolectar las referencias para los cálculos de caudal en cada área, numero de renovaciones/hora, dimensionamiento de ductos, parámetros de selección de equipos, así como conceptos técnicos y definiciones. Por tanto, es un documento que suministrara un apoyo importante bibliográficamente hablando.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Tal y como se explicó al principio de este documento, se sabe que la Facultad de Artes de la Universidad Distrital no tiene un sistema de ventilación funcional. Se debe calcular y seleccionar los equipos para que los sistemas de ventilación de esta facultad operen correctamente de acuerdo a las necesidades de la sede.

En la ASAB el aire no se encuentra con la calidad aceptable para que no llegue a afectar la salud de los ocupantes en ese sitio. La concentración de contaminantes en el aire tales como: microorganismos, polvo, partículas, humos, gases y/o vapores tiende a aumentar en áreas confinadas donde no existe ventilación, ya sea natural o mecánica, como sucede en este caso.

La mala ventilación puede ocasionar afecciones respiratorias, como aspergilosis, congestión nasal o asma. Otro inconveniente de una ventilación pobre es el efecto del monóxido de carbono, que afecta a la salud pues interfiere en el transporte de oxígeno al corazón, músculos y cerebro. A lo anterior, se le suma el riesgo de contagio por COVID 19, del cual ya se conocen sus consecuencias, pero también, las diferentes medidas que se deben adoptar para mitigar su esparcimiento, siendo la buena ventilación una de ellas. Hoy en día, ya se ha superado la peor parte de esta pandemia y la mayoría de la población colombiana se encuentra vacunada, sin embargo, varias de las medidas de prevención se recomiendan seguir aplicándolas.

Las complicaciones paralelas a la salud que trae una mala ventilación, por mencionar algunas, son, bajo rendimiento (laboral o académico), poca concentración, somnolencia, inconfort térmico y sensación de suciedad. La situación está provocando que las clases destinadas a la práctica de danza, teatro, música, pintura, entre otras, no sean provechosas. Por ello, la urgente necesidad de solucionar la actual problemática en la Facultad de Artes de la UD.

Se ejecutarán los cálculos y análisis correspondientes con el fin de presentar ante la decanatura las cantidades y características de los equipos que necesita la Universidad, de esta manera, se logrará presupuestar la inversión requerida en donde se garantice la calidad de aire en todos los espacios, asegurándose de que los individuos que allí conviven no sufran afecciones en su salud y no mermen su rendimiento durante su formación profesional, a la vez que se cumple con los estándares técnicos estipulados por organismos nacionales e internacionales.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar los equipos de ventilación necesarios para asegurar condiciones de intercambio de aire en los diferentes espacios de la facultad de artes ASAB.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Definir la línea base existente en los sistemas de ventilación actuales en términos de caudal de aire (suministro y extracción) como parámetro de inicio.
2. Determinar los requerimientos reales de ventilación mecánica en relación al caudal y renovación de aire para cada una de las áreas comprendidas por el actual sistema de ventilación de la ASAB.
3. Seleccionar los nuevos equipos de ventilación mecánica para reposición o instalación nueva.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. El aire

El aire es un gas que envuelve la Tierra y que resulta absolutamente imprescindible para la respiración de todos los seres vivos. Está compuesto de una mezcla mecánica de varios gases, prácticamente siempre en la misma proporción y en la que destaca el Nitrógeno que es neutro para la vida animal y el Oxígeno, que es esencial para la vida en todas sus formas. (Soler&Palau ventilation group, 2012)

En la tabla 10 puede verse su composición media, que de forma sinóptica es representada en la ilustración 1.

Tabla 10. Componentes del aire seco

COMPONENTES DEL AIRE SECO (1'2928 kg/m^3, a 0 °C 760 mm)					
	Símbolo	En volumen %	En peso %	Contenido en el aire, g/m^3	Peso específico kg/m^3
Nitrógeno	N_2	78'08	75'518	976'30	1'2504
Oxígeno	O_2	20'94	23'128	299'00	1'428
Argón	Ar	0'934	1'287	16'65	1'7826
Anh. Carbónico	CO_2	0'0315	$0'4.10^{-6}$	0'62	1'964
Otros		0'145	0'0178	0'23	-

Fuente: (Soler&Palau ventilation group, 2012)

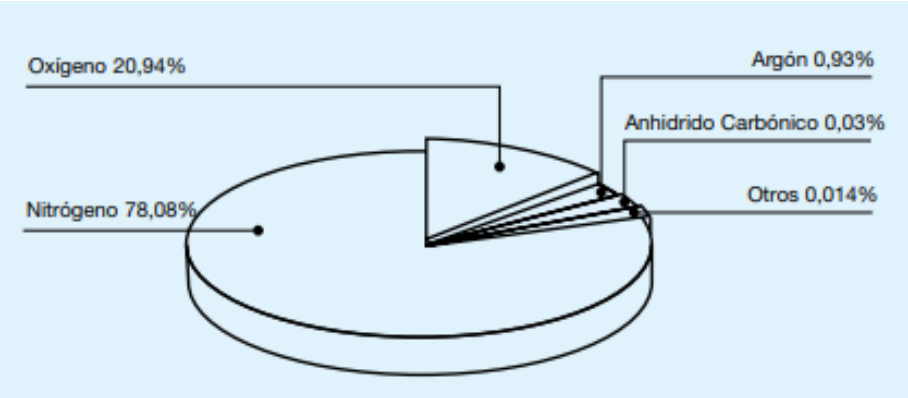


Ilustración 1. Sinopsis tabla 10

Fuente: (Soler&Palau ventilation group, 2012)

Nótese que se cita «aire seco» y no simplemente «aire». Esto se debe a que el aire que nos rodea es «aire húmedo», que contiene una cantidad variable de vapor de agua que reviste gran importancia para las condiciones de confort del ser humano.

3.2. La ventilación

Se entiende por ventilación la sustitución de una porción de aire, que se considera indeseable o perjudicial, por otra que aporta una mejora en pureza, temperatura, humedad, etc.

La ventilación de los seres vivos, las personas entre ellos, les resuelve funciones vitales como el suministro de oxígeno para su respiración y a la vez les controla el calor que producen y les proporciona condiciones de confort, afectando a la temperatura, la humedad y la velocidad del aire.

La ventilación de máquinas o de procesos industriales permite controlar el calor, la toxicidad de los ambientes o la explosividad potencial de los mismos, garantizando en muchos casos la salud de los operarios que se encuentran en dichos ambientes de trabajo. (Soler&Palau ventilation group, 2012)

Para efectuar una ventilación adecuada hay que atender a:

a) Determinar la función a realizar (el calor a disipar, los tóxicos a diluir, los sólidos a transportar, etc.)

b) Calcular la cantidad de aire necesaria.

c) Establecer el trayecto de circulación del aire.

3.2.1. Conceptos y magnitudes

En el movimiento del aire a través de un conducto y las magnitudes involucradas se representan de acuerdo a la ilustración 2.

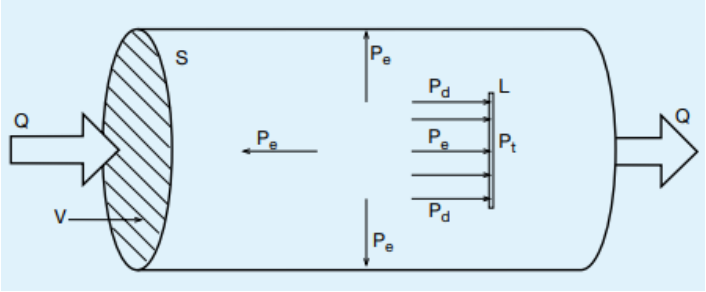


Ilustración 2. Movimiento del aire a través de un conducto

Fuente: (Soler&Palau ventilation group, 2012)

Caudal:

- La cantidad o Caudal Q (m3/h) de aire que circula.
- La sección S (m2) del conducto.
- La Velocidad v (m/s) del aire.

Vienen ligados por la fórmula:

$$Q = 3600 * v * S \quad \textbf{EC. 4}$$

Presión:

El aire, para circular, necesita de una determinada fuerza que le empuje. Esta fuerza, por unidad de superficie, es lo que se llama Presión. Existen tres clases de presión:

PRESIÓN ESTÁTICA, **Pe**

Es la que ejerce en todas las direcciones dentro del conducto, en la misma dirección del aire, en dirección contraria y en dirección perpendicular, sobre las paredes del mismo. Si el conducto fuese cerrado, como un recipiente con el aire en reposo, también se manifestaría este tipo de Presión.

La Presión Estática puede ser positiva, si es superior a la atmosférica o bien negativa, si está por debajo de ella.

PRESIÓN DINÁMICA, **Pd**

Es la presión que acelera el aire desde cero a la velocidad de régimen. Se manifiesta sólo en la dirección del aire y viene relacionada con la dirección del mismo, aproximadamente por las fórmulas:

$$P_d = \frac{v^2}{16} \text{ (mm c.d.a.)} \quad \textbf{EC. 5}$$

$$v = 4\sqrt{P_d} \text{ (m/s)} \quad \textbf{EC. 6}$$

La gráfica de la ilustración 3 relaciona ambas magnitudes, la Velocidad del aire v y su correspondiente Presión Dinámica P_d.

La Presión Dinámica es siempre positiva.

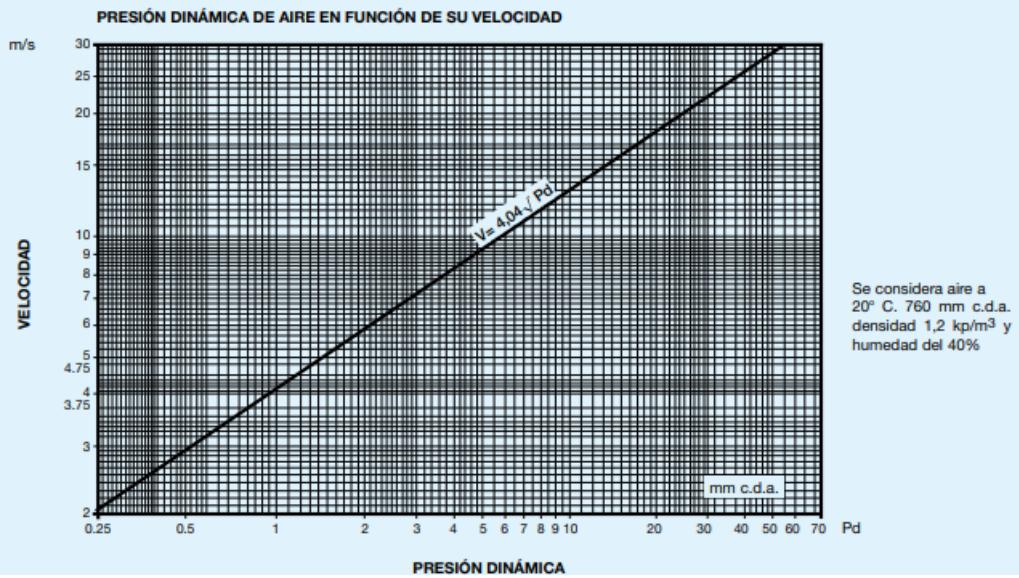


Ilustración 3. Presión dinámica del aire en función de su velocidad

Fuente: (Soler&Palau ventilation group, 2012)

PRESIÓN TOTAL, **Pt**

Es la presión que ejerce el aire sobre un cuerpo que se opone a su movimiento. En la ilustración 2 sería la presión sobre una lámina L opuesta a la dirección del aire. Esta presión es suma de las dos anteriores.

$$P_t = P_e + P_d \quad \textbf{EC. 7}$$

En hidráulica esta expresión recibe el nombre de Ecuación de Bernoulli.

3.3. Circulación de aire por conductos

Para ventilar un espacio, un recinto o una máquina, ya sea impulsando aire o bien extrayéndolo, es muy corriente tener que conectar el ventilador/extractor por medio de un conducto, una tubería, de mayor o menor longitud y de una u otra forma o sección.

El fluir del aire por tal conducto absorbe energía del ventilador que lo impulsa/extrae debido al roce con las paredes, los cambios de dirección o los obstáculos que se hallan a su paso. La rentabilidad de una instalación exige que se minimice esta parte de energía consumida.

Como el consumo de un ventilador es directamente proporcional a la presión total P_t a que trabaja, podemos constatar que, de no cuidar el diseño de una canalización, puede darse el caso de gastar mucha más energía de la necesaria.

3.3.1. Pérdida de carga

A la presión del aire necesaria para vencer la fricción en un conducto, que es la que determina el gasto de energía del ventilador, se le llama pérdida de carga. Se calcula a base de la longitud de la conducción, el llamado diámetro hidráulico, la velocidad y densidad del aire y el coeficiente de frotamiento, de la rugosidad de las paredes, de las dimensiones y la disposición del mismo.

<u>Tramos Rectos</u>

La forma práctica de hacerlo es recurriendo a nomogramas confeccionados en base a todo el bagaje técnico necesario y son válidos para conducciones con la rugosidad corriente en materiales habitualmente usados.

El nomograma de la ilustración 4 se muestra uno de ellos para secciones circulares y un coeficiente de fricción λ = 0’02 (plancha de hierro galvanizada).

<u>Conductos rectangulares</u>

Si la sección del conducto no es circular, caso frecuente en instalaciones de ventilación en donde se presentan formas rectangulares o cuadradas, es necesario determinar antes la sección circular equivalente, esto es, aquélla que presenta la misma pérdida de carga que la rectangular considerada. El diámetro equivalente puede determinarse de forma práctica por medio de la gráfica de la ilustración 5.

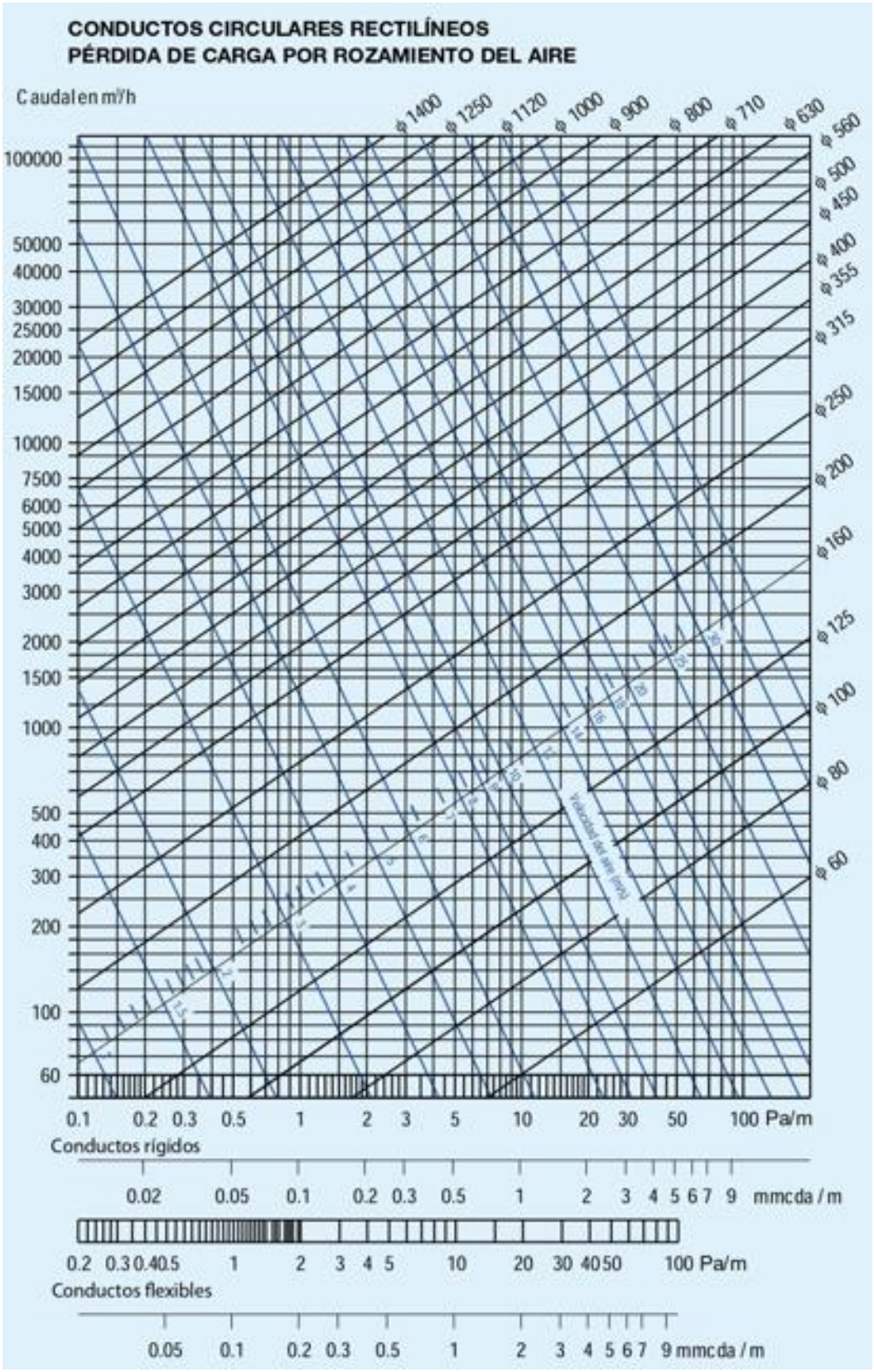


Ilustración 4. Conductos circulares rectilíneos pérdida de carga por rozamiento de aire

Fuente: (Soler&Palau ventilation group, 2012)

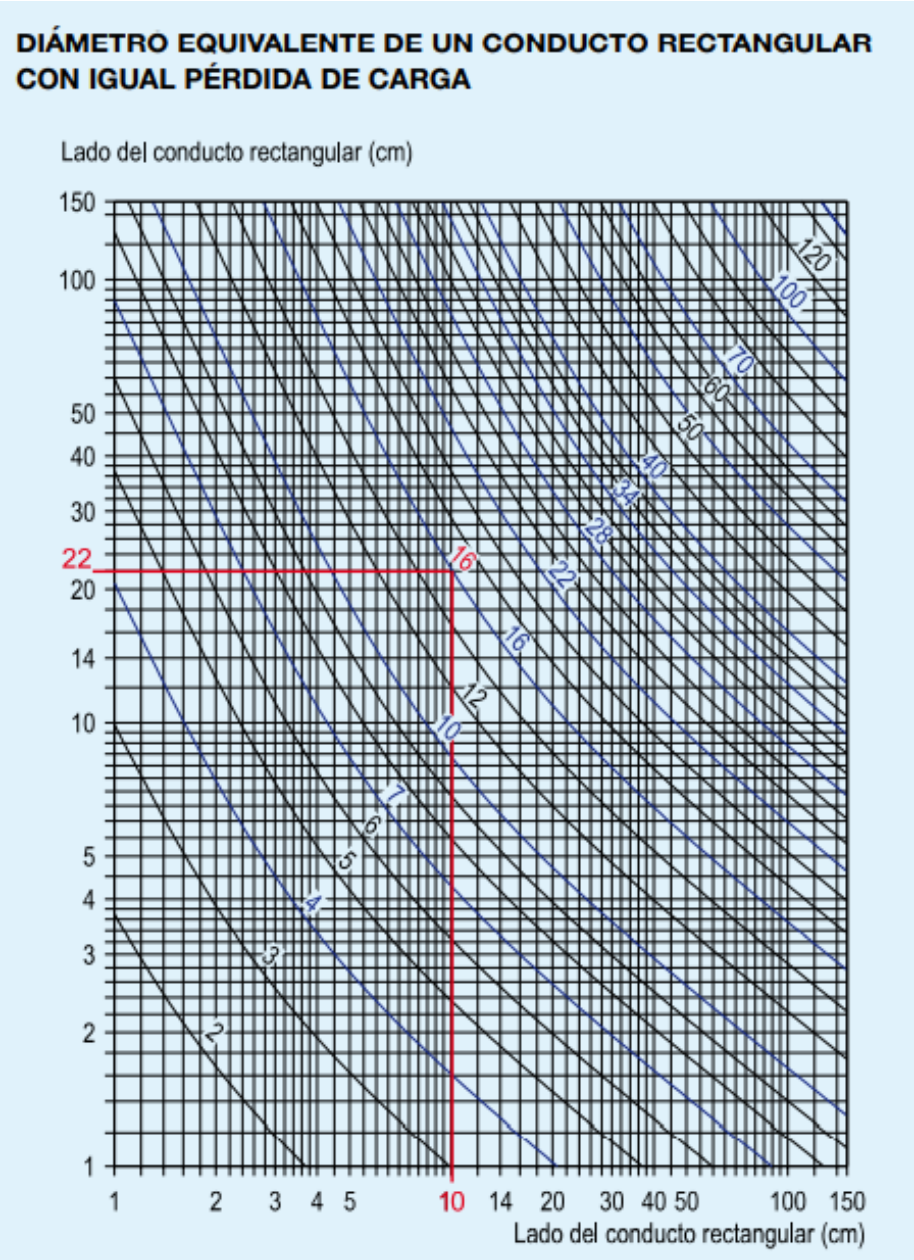


Ilustración 5. Diámetro equivalente de un conducto rectangular con igual pérdida de carga

Fuente: (Soler&Palau ventilation group, 2012)

Accidentes en la conducción

Las canalizaciones de aire no siempre se componen de tramos rectilíneos, sino que a menudo se presentan accidentes en su trayectoria que obligan al uso de codos, desviaciones, entradas, salidas, obstáculos, etc., los cuales provocan una pérdida de carga adicional. En consecuencia, será necesario calcular las pérdidas de cada uno de tales accidentes y sumarlas a las de los tramos rectos.

Existen diversos métodos para calcular la pérdida de carga debida a los accidentes de una canalización, siendo el más usado en los manuales especializados (con muchos datos

experimentales que permiten, con unas sencillas operaciones, determinar su valor), el siguiente:

3.3.2. Calculo de pérdida de carga método del coeficiente «n»

Se basa este método en calcular la pérdida de carga de un elemento de la conducción en función de la presión dinámica P_d del aire que circula y de unos coeficientes «n» de proporcionalidad, determinados experimentalmente, para cada uno según su forma y dimensiones. La fórmula usada es:

$$\Delta P = n * P_d \text{ (mm c.d.a)} \quad \textbf{EC. 8}$$

De esta forma calcularemos uno a uno los accidentes de la conducción que, sumados a los de los tramos rectos, nos proporcionarán la pérdida de carga total del sistema de conducción.

La presión dinámica P_d que aparece en la ecuación 8 puede hallarse fácilmente al ubicar la intersección entre el caudal y el diámetro de los conductos en el nomograma de la ilustración 6.

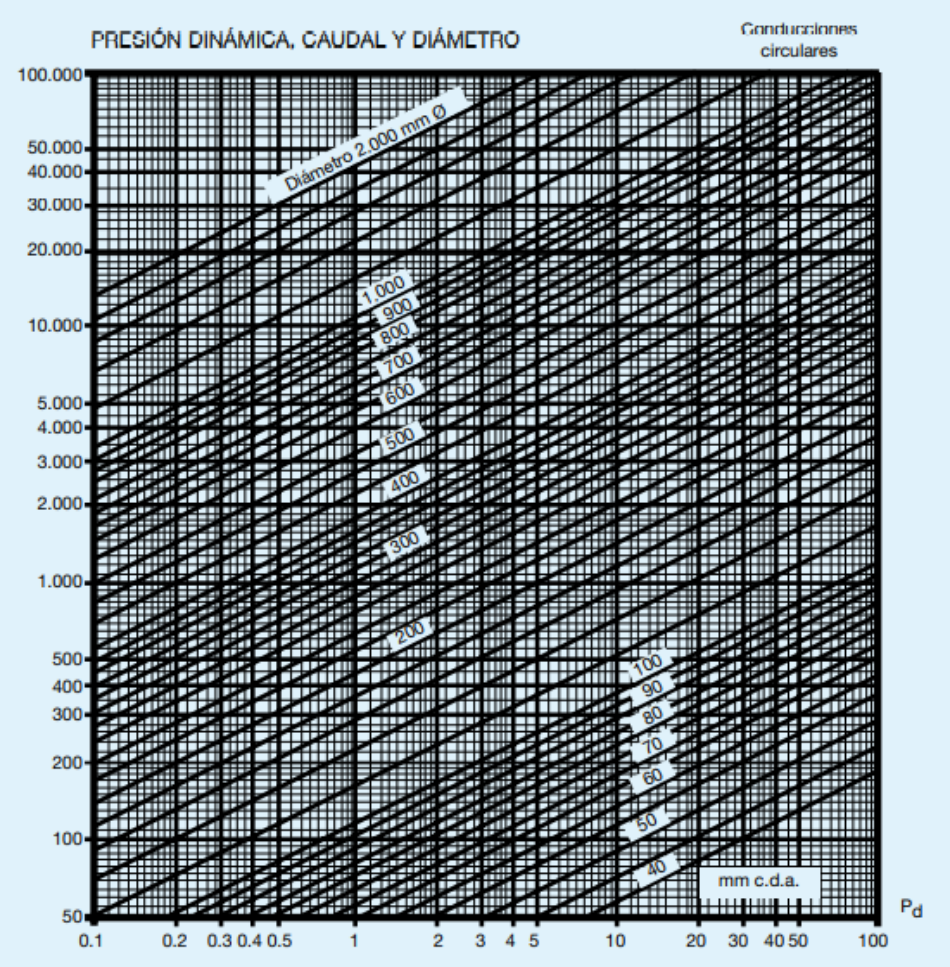


Ilustración 6. Relación de presión dinámica, caudal y diámetro para conductos circulares

Fuente: (Soler&Palau ventilation group, 2012)

En las figuras siguientes se proporcionan los coeficientes «n» de pérdida de carga de diversos accidentes en la circulación de aire por conductos rectangulares, desde su captación hasta la descarga.

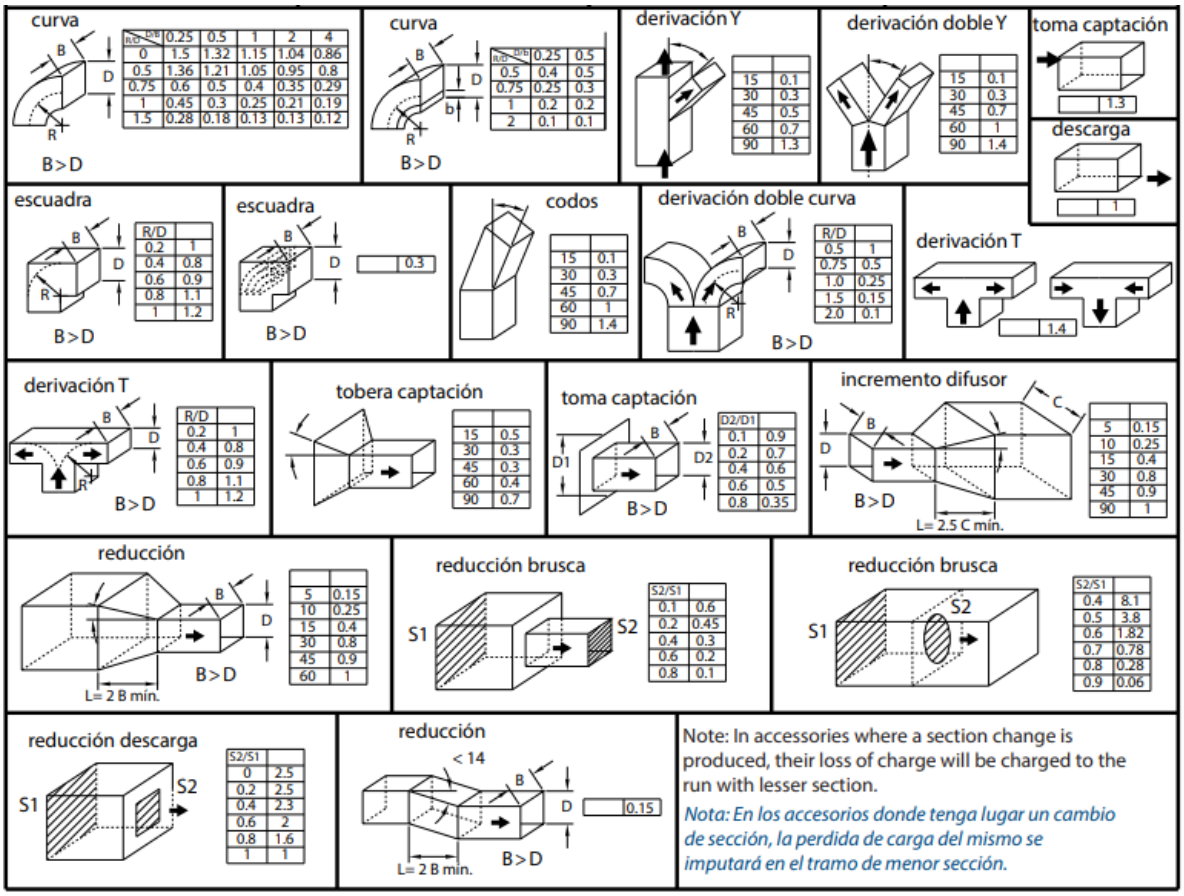


Ilustración 7. Pérdida de carga en accidentes de ductos rectangulares

Fuente: (Innovation, 2015)

3.4. Sistemas de ventilación

Para la ventilación se puede tener como concepto que es el aire que se requiere limpiar dentro de un ambiente, debido a que es un aire en constante uso, temperatura por encima o por debajo de lo normal o humedad excesiva, por otro aire exterior limpio que sirve para tener control adecuado del calor, contaminación en el ambiente y eventual incendio de un ambiente. Su objetivo primordial dentro de los ambientes que los albergan es mantener a los ocupantes en buen estado.

Los sistemas de ventilación se pueden clasificar según diferentes aspectos:

1. Según la forma de disposición del recinto.
2. Según el origen de la contaminación.
3. Según los equipos de ventilación a usar.

3.4.1. Según la forma de disposición del recinto

3.4.1.1. Ventilación natural

La ventilación natural es el ingreso natural del fluido que es el aire, por donde se le oponga menos resistencia, que pueden ser accesos de puertas, ventanas, techos abiertos, entre otras. La razón trascendental para que se genere el movimiento del aire, es por las diferencias de temperatura o de presiones. Sin embargo, como se sabe la naturaleza es muy cambiante por tal motivo esta ventilación resulta muchas veces impredecible.

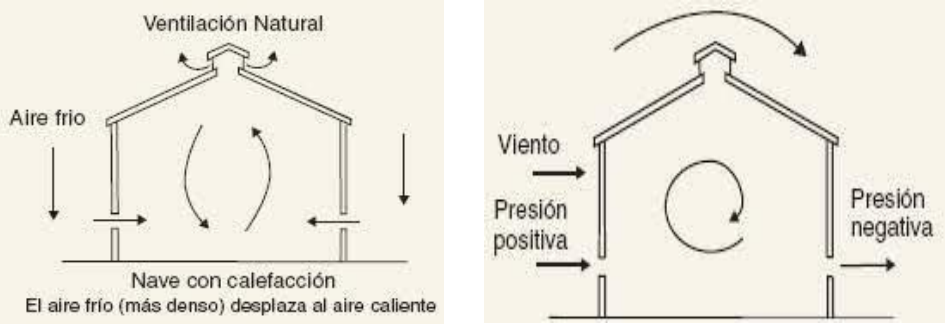


Ilustración 8. Ventilación común en el ambiente

Fuente: (Echeverri, 2011)

3.4.1.2. Ventilación mecánica

La ventilación mecánica o ventilación forzada, se dice que es cuando el fluido en este caso el aire de los recintos, es forzado a ingresar o salir del ambiente que lo alberga, gracias a la elaboración de depresiones o sobrepresiones por medio de los equipos de ventilación motorizados, que serán accionados mediante el ingreso de energía eléctrico.

Los equipos de ventilación mecánica según su distribución del sistema en el cual se alberga pueden accionarse de los siguientes criterios para su mantenimiento:

- Solo inyección, con una boca para la salida del fluido.
- Solo extracción, con una boca para el ingreso del fluido.
- Con ambas acciones, inyección y extracción.

3.4.2. Según el origen de la contaminación

3.4.2.1. Ventilación exterior

La entrada de aire limpio en los ambientes es muy importante para mantener un ambiente libre de cualquier tipo de contaminación, y asegurar un aire en concentraciones de contaminantes con niveles aceptables. Al inyectar el aire desde el exterior, este se mueve hacia todos los lugares que le ofrezca el ambiente, para luego mezclarse con el aire

contaminado y posteriormente ser extraído hacia un lugar estratégico que ya se ha elegido. Se puede decir también que, si en el ambiente se encuentra un gas o fluido contaminante muy denso o localizado, lo que va a ser el aire que ingresa es mover el contaminante de un lado para otro para luego por sobrepresión expulsarlo. Se sabe que, en lugares cerrados sin acceso a una ventilación natural, las temperaturas pueden elevarse, entonces forzando a ingresar un aire limpio se puede contrarrestar dicho fenómeno.

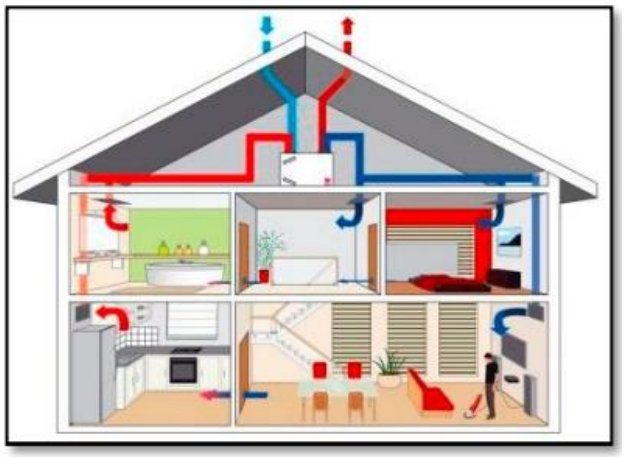


Ilustración 9. Ventilación exterior

Fuente: (Michel Cohas)

En la ilustración 9, se muestra como el aire ingresa hacia el recinto desde el exterior, para limpiar el aire que se encuentra contaminado en el interior.

Cuando las fuentes de contaminación se pueden guiar hacia otros lugares sin restricciones, se puede usar este tipo de ventilación. Para ingresar aire desde el exterior, la ventilación puede ser de forma mecánica y natural.

El ingenio de quien lo diseña es fundamental como casi todas las herramientas creadas por el hombre, puesto que, hace una instalación no muy compleja, sin embargo, se puede colocar los fundamentos siguientes:

- La cantidad del gas contaminante es muy importante, además de su posible difusión, y su emisión o generación.
- Cuando se ha localizado los puntos de contaminación, analizar los puntos a colocar zonas de extracción.
- La movilización del aire contaminado es importante, la mejor forma de extraerlo es haciendo un barrido puntual y estratégico.

3.4.2.2. Ventilación localizada total

Los sistemas de ventilación permiten controlar o asegurar la contaminación por gases, vapores o partículas. Estos tipos de ventilación en este caso para la extracción, absorbe todo tipo de gases producidos en cualquier tipo de procesos productivos de la industria o

de la vida cotidiana, es muy importante contar e implementar este tipo de sistemas para mejorar la calidad de aire que circulan en el ambiente. Sobre todo, reducir la posibilidad de que los asistentes a esos ambientes estén expuestos a estas partículas y causar un problema de salud integral. Estos sistemas deben ser diseñados por profesionales expertos, y serán adecuados según la funcionalidad o el nivel de producción del lugar donde se va a implementar. Por tal motivo, su diseño e implementación puede resultar un tanto difícil que el sistema antes mencionado, porque la extracción debe estar ubicada en función a la localización del contaminante.

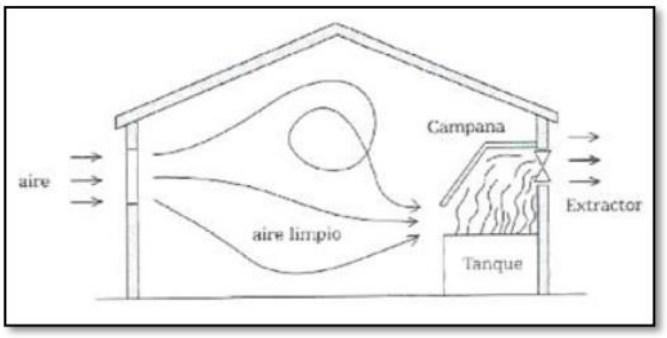


Ilustración 10. Ventilación localizada total

Fuente: (Echeverri, 2011)

En la ilustración 10, se muestra un punto de contaminación donde lo esencial es extraer el contaminante desde el mismo punto de contaminación.

Para la instalación de ventilación localizada se puede colocar los fundamentos siguientes:

- Si se usa una campana extractora, se está usando la esencia de este tipo de ventilación, puesto que, una vez localizado el punto denso de contaminación, se tiene que extraer el aire, de tal forma que este contaminante no se expanda por los lugares donde sea más difícil de capturarlos.
- Una vez extraído el contaminante este se debe guiar a un equipo donde dicho contaminante será tratado para derivarlo al ambiente.
- Se tiene que colocar filtros, que hace el trabajo de tamizado, el cual funcionara de tal forma que debe separar las partículas contaminantes de las que aún están limpias, para esas ser lanzadas al ambiente y tener un minúsculo impacto de contaminación.
- Una vez instalado el recorrido de los ductos, el ventilador se encargará de mover el contaminante hacia su ubicación adecuada y diseñada.

3.4.3. Según los equipos de ventilación a usar.

3.4.3.1. Por sobrepresión

Asumiendo que será un sistema de ventilación mecánica, la única forma de ingresar aire a un recinto es por medio de algún equipo accionado de manera mecánica, es decir, por una señal eléctrica, para el ingreso de aire se produce de forma directa, es decir, viene del

exterior del recinto. El trabajo o concepto de este sistema consiste en crear una sobrepresión dentro del ambiente, como consecuencia el aire o fluido que se encuentre trata de salir por el lugar por donde se le ponga menos resistencia. Pero, si esto consiste en hacer largos recorridos de ductos, creará un falso tratamiento de la concentración de la contaminación, posteriormente hará que el fluido salga por las rampas del estacionamiento, el cual no es el objetivo de los diseños de ventilación, porque el gas contaminante saldrá al nivel cero del edificio, haciendo que la contaminación sea más rápida inhalada por los transeúntes. Lo esencial para todos los tipos de sistemas empleados es que el aire viciado o contaminado sea guiado a un lugar adecuado y no incremente el nivel de contaminación que ya se tiene en la calle.

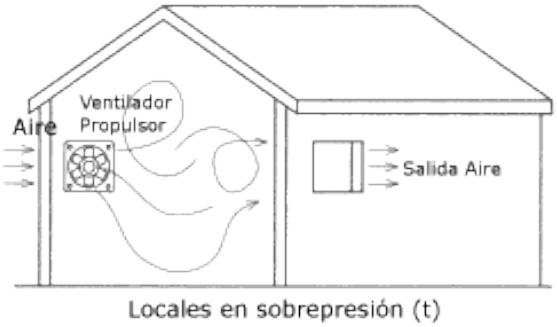


Ilustración 11. Ventilación por sobrepresión

Fuente: (Echeverri, 2011)

En la ilustración 11, se muestra que el ingreso de aire se realiza de manera forzada con la ayuda de un ventilador, colocado en un punto estratégico de operación.

3.4.3.2. Por depresión

Una vez calculado el caudal necesario a extraer, para este tipo de sistema solo se tiene en cuenta que se cuente con un lugar idóneo donde colocar el equipo mecánico que hará la extracción del fluido. Como a la salida de aire se tiene el control absoluto en este tipo de sistemas, se le puede guiar o adecuarlo de tal forma que se coloque en lugares donde la concentración es densa. Para ingresar el aire, se debería adecuar un lugar estratégico, además de tratar que el ingreso del aire sea por la rampa más cercana al trabajo a realizar, de esta manera se distribuye en forma ideal el aire.

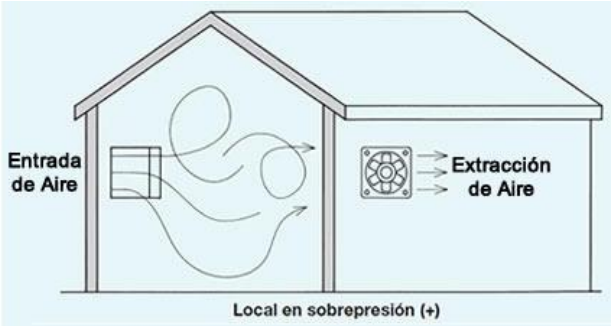


Ilustración 12. Ventilación por depresión

Fuente: (Echeverri, 2011)

En la ilustración 12, se muestra que la salida de aire se realiza de manera forzada con la ayuda de un ventilador, colocado en un punto estratégico de operación.

3.4.3.3. Mixta

Consta de la instalación de ventiladores que ingresan y sacan aire al mismo tiempo. Con este tipo de sistema, se masifica la ventilación, puesto que, se hace de forma homogénea debido a que la ventilación se realiza hasta en los rincones de menos acceso del ambiente, esto debido a que cuenta con diferentes puntos de trabajo.

3.5. Ventiladores

Para remover el aire en un sistema de ventilación o extracción, se requiere de energía mecánica para superar las pérdidas de presión del sistema. Esta energía puede darse por convección natural o empuje. Sin embargo, la mayoría de los sistemas requieren un equipo para el movimiento de aire como son los ventiladores.

El funcionamiento de los ventiladores se basa en proporcionar energía mecánica al aire a través de un rotor que gira a alta velocidad, incrementando la energía cinética del aire, que luego se altera parcialmente en presión estática. Se suelen dividir básicamente en dos grandes grupos: ventiladores axiales y ventiladores centrífugos.

Los ventiladores son turbomáquinas hidráulicas como un concepto general, que ayudan a generar el movimiento necesario para mover el aire a cualquier disposición.

La construcción de un ventilador es principalmente de un motor que recibe energía eléctrica, con más de un accesorio necesario para funcionar según el fin de su fabricación, y estos pueden contar con: arranque para el encendido, controlador de velocidad, cambio de polaridad, etc. y un generador de energía que gira conectado por un eje, por el que pasa la energía de trasmisión. Aquella hélice asume la configuración de rodete con álabes, para la ocasión del tipo centrífugo, también puede ser de un aspa con las palas de contorno y en cantidades necesarios, para la ocasión de los tipos axiales.

3.5.1. Tipos de ventiladores

3.5.1.1. Ventiladores axiales

Son aquellos en los cuales el flujo del aire sigue la dirección del eje del ventilador. Se suelen llamar helicoidales, pues el flujo a la salida tiene una trayectoria en forma de hélice. En general son aptos para mover grandes caudales a bajas presiones. Estos se pueden clasificar según su envolvente.

Hay tres clases de ventiladores axiales:

- Axial con aleta guía: Estos ventiladores se componen de aletas guiadoras del fluido, se le atribuye aletas que van a salida del aire, se esta forma se le dará la eficacia más ardua al ventilador. Producen más ruido que los centrífugos, son para ventilar.

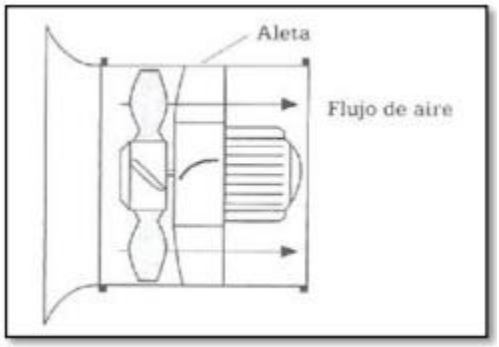


Ilustración 13. Ventilador axial con aletas guía

Fuente: (Soler&Palau ventilation group, 2012)

- Ventiladores tubo axiales: No cuenta con aletas de guías a la salida del fluido. Su construcción es muy sencilla y básica, es por ello que no demanda de un costo muy elevado. Se puede usar en aplicaciones también descritas en el anterior tipo de ventilador, en equipos de HVAC. Sus atribuciones se destacan en que tienen un eje pequeño y son usados más que nada para altos caudales y baja presión. Algo importante es mencionar su nivel de ruido, el cual es más ruidoso que el de guía de aletas.

  El movimiento del fluido cuando pasa a través del ventilador es de forma directa y es lanzado según la caída de presión establecida

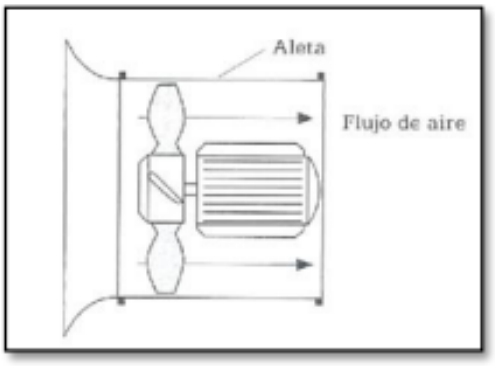


Ilustración 14. Ventilador tubo axial

Fuente: (Soler&Palau ventilation group, 2012)

- Ventiladores helicoidales: Su funcionamiento se debe a que se pueden usar en implementaciones de presiones bajas, la impulsión es nula, pero tiene un alto rango de caudal para cumplir. La instalación es en ventilación para torres de enfriamiento, para extracción de aire colocados en techos.

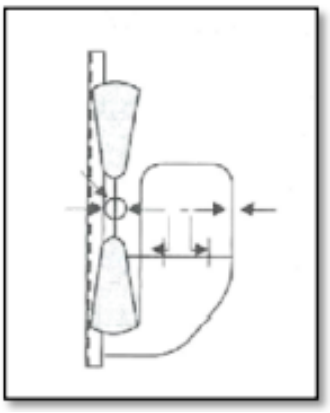


Ilustración 15. Ventilador helicoidal

Fuente: (Soler&Palau ventilation group, 2012)

Para los ventiladores axiales antes mencionados, no es recomendable instalarlos con ductos, puesto que, tendrían mayores pérdidas de presión, y ejercerían una mayor oposición del cual vencer, por lo que serían menos eficaces y el ruido aumentaría considerablemente.

3.5.1.2. Ventiladores centrífugos

Se puede decir que son turbomáquinas, el aire siempre ingresa de la misma manera, es decir, ingresa por el rotor o siroco con una dirección paralela a su eje, para luego salir en dirección perpendicular a su trayecto. Como su mismo nombre lo dice centrifugo, debido a que la salida del aire se produce por la fuerza centrífuga, esto sucede porque en su construcción posee alabes soldados a su rotor, de esta manera. Para darle el movimiento que se desea al aire o al fluido, este la recibe del eje que gira acoplado al motor. Los ventiladores centrífugos no son al 100% efectivos sus valores de eficiencia están entre 45% y los 84%, todo esto se da porque las direcciones de entrada de aire con respecto a la salida son diferentes, entonces en la unión de estas direcciones se producen remolinos que afectan su rendimiento efectivo. (Echeverri, 2011).

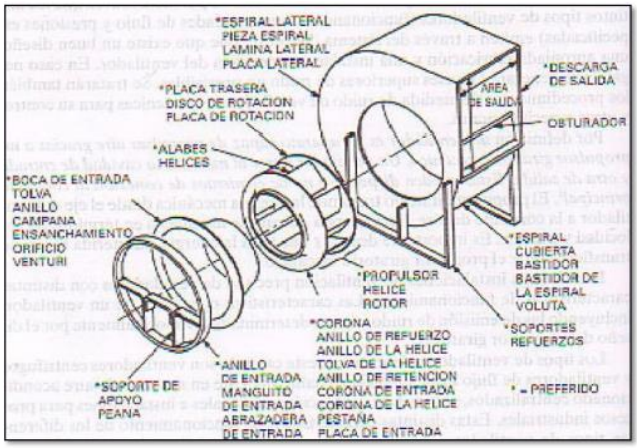


Ilustración 16. Ventilador centrifugo

Fuente: (V. Baturin, 1976)

De la misma forma que los ventiladores axiales, el ángulo de los alabes del rotor influyen en su funcionamiento, por tal motivo aquí se determinan las importancias de velocidad de rotación. El trabajo realizado por un ventilador centrífugo es directamente proporcional al movimiento o la velocidad frontal medida en la parte exterior de la aleta. Por ello, según eso se puede tener algunos tipos de rotores:

- Con álabes curvados hacia atrás: Los alabes tienen una dirección contraria a la rotación del rotor. Por su desempeño se pueden usar especialmente en operaciones de altas velocidades a una potencia mínima, manteniendo un nivel de ruido requerido con altas eficiencias. Pueden vencer altas presiones estáticas, estos equipos se pueden usar en calefacción, ventilación y aire acondicionado, con sus configuraciones respectivas. Las diferencias están en las formas de los alabes, aquí algunas:

    1. Álabes de grosor uniforme: Con esta configuración se puede controlar el polvo o la humedad. Lo recomendable es no usarlos en partículas peligrosas que pueden acoplarse en las paredes de los alabes que giran.

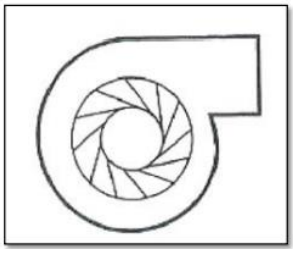


Ilustración 17. Rotor con alabes de grosor uniforme

Fuente: (Echeverri, 2011)

    2. Alabes aerodinámicos: Solo se pueden usar para aires limpios, sin concentraciones de partículas de gases tóxicos, además si se dan altas eficiencias y bajos niveles de ruido, que son características importes a la hora de tomar decisiones, como se muestra en la figura 11.

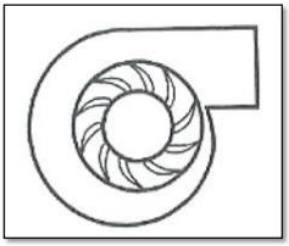


Ilustración 18. Rotor con alabes aerodinámicos

Fuente: (Echeverri, 2011)

    3. Alabes radiales: Las partículas contaminadas pueden atravesar el ventilador, estas configuraciones pueden ser utilizadas en diferentes sistemas. Los alabes serán alargados en su perímetro, a la vez de mínimo espesor, de esta forma se

trabajará en baja presión y amplios caudales. Es preciso decir también, que para operaciones de alta presión y bajos caudales se usaran alabes estrechos y vastos. Para las fabricaciones también se tienen rotores con alabes que en su diámetro interior tienen una pequeña inclinación para la dirección de rotación. Son los comúnmente llamados alabes radiales modificados.

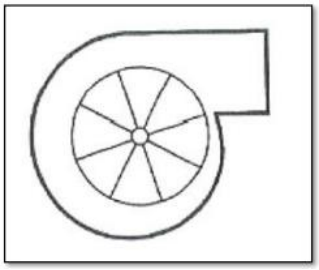


Ilustración 19. Rotor con alabes radiales

Fuente: (Echeverri, 2011)

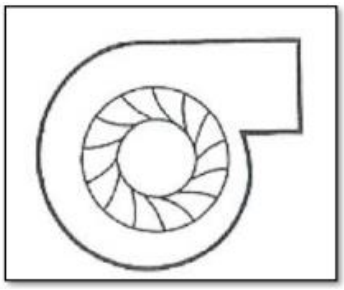


Ilustración 20. Rotor con alabes radiales modificados

Fuente: (Echeverri, 2011)

- Con álabes curvados hacia adelante: Según el sentido de giro de su rotor, en esa misma dirección se colocan sus alabes. En su instalación no requieren de demasiado espacio, además de sus mínimas velocidades en los extremos de los alabes. Usualmente son requeridos para colocarse en diseños de operaciones de baja a media presión como los usados para aire acondicionado. Las partículas se pueden pegar en las paredes de los alabes muy fácilmente y como consecuencia pueden causar turbulencia en el desarrollo de su función.

  De acuerdo a su forma de los álabes, esta se condiciona en el amontonamiento de los materiales que este está conduciendo, se puede recomendar que los ventiladores solo se limiten a los siguientes usos:

  1. Álabes de espesor uniforme: Para colocar alabes de grueso espesor que permitirá operar con el fluido ligeramente contaminado o con algo de humedad. Como se dijo anteriormente solo con materiales de tipo gases o vapor no con materiales solidificados, porque pueden pegarse o acomodarse en la parte posterior por la dirección del giro del rotor.

2. Álabes de ala portante: Permiten mayores rendimientos y obtener menores valores de sonido. Se puede tener álabes huecos y estos se pueden desgastar rápidamente y llenarse de líquido si la humedad donde se encuentra es alta, entonces solo se debe limitar su uso en aire y fluido con cuidados en la contaminación del material.

3.5.2. Curva característica de un ventilador

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

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

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

Para entender mejor el concepto de curva característica pondremos el siguiente ejemplo: Supongamos un ventilador tubular trabajando según indica la posición a) de la ilustración 21. Al medir el caudal de aire que proporciona, encontramos Q1 = 10.000 m3/h. Si repetimos el ensayo empalmando un conducto de 10 m por el lado de admisión (posición b) y medimos de nuevo el caudal, nos encontramos con que ha bajado a Q2 = 8.000 m3/h. En otro ensayo, acoplamos un tubo de 50 m de longitud (posición c), y comprobamos que el caudal ha descendido a Q3 = 5.000 m3/h.

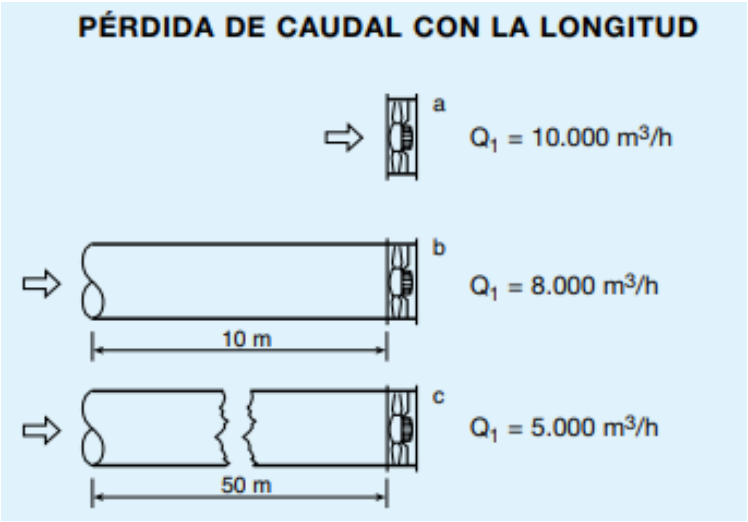


Ilustración 21. Pérdida de caudal con la longitud

Fuente:(Soler&Palau ventilation group, 2012)

Las experiencias anteriores demuestran que no es suficiente conocer el caudal que es capaz de suministrar un ventilador a descarga libre (posición a), esto es, sin obstrucciones, para poder catalogarlo. Es necesario conocer qué caudales irá proporcionando según sean las distintas pérdidas de carga que deba vencer.

En la ilustración 22 tenemos representada una curva característica de un ventilador.

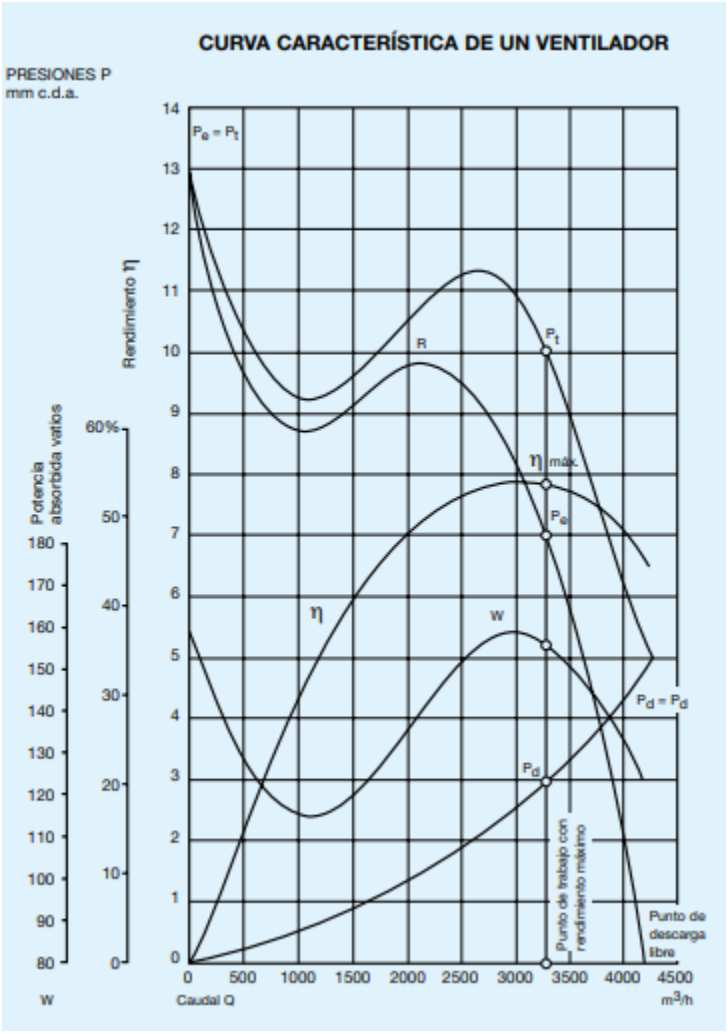


Ilustración 22. Curva característica de un ventilador

Fuente:(Soler&Palau ventilation group, 2012)

Se observa en primer lugar en la ilustración 22 curvas diferentes. Cada una de éllas representa un valor distinto y su lectura se hace en las diferentes escalas que están a la izquierda; tres están relacionadas con la presión que da el ventilador para distintos caudales (son las denominadas Pt , Pe, Pd). Cumpliéndose en todo momento la ecuación 7.

Obsérvese que, a descarga libre, es decir, cuando la Presión Estática (Pe) es nula, el ventilador da el máximo caudal que puede mover; en este punto la Presión Total es igual a la Dinámica (Pt = Pd). Asimismo, cuando el ventilador está obturado, es decir, que da el mínimo caudal, la Presión Dinámica (Pd) es nula; en este punto, la Presión Total es igual a la Estática (Pt = Pe).

Otra curva que se puede ver en el gráfico es: la curva de potencia absorbida (W), que se lee en la escala vertical situada más a la izquierda (en watios). Esta curva da la potencia que consume el motor que acciona el ventilador, y se puede ver que presenta un máximo (en la figura corresponde al punto de caudal 3.000 m3/h).

También se tiene representada la curva de rendimiento (η), que se lee en % en la escala vertical intermedia, se puede ver que el rendimiento del ventilador depende del caudal que está moviendo.

3.5.3. Punto de trabajo

La curva característica del ventilador depende únicamente del ventilador, y solamente puede variar si el ventilador funciona a una velocidad de rotación distinta. Puede aceptarse en principio que la curva característica es totalmente independiente del sistema de conductos al que se acople. Sin embargo, hay que considerar que un ventilador puede funcionar moviendo distintos caudales y comunicándoles distintas presiones, de tal forma que todos los puntos posibles de funcionamiento se hallen representados sobre la curva (Pe), (ilustración 22).

Para saber exactamente en qué condiciones funcionará el ventilador, se debe conocer la curva resistente de la instalación, es decir, la curva que relaciona la pérdida de carga de la instalación con el caudal que pasa por ella. Se puede encontrar de forma fácil el punto de trabajo de un ventilador simplemente superponiendo las curvas características del ventilador y resistente del conducto según se indica en la ilustración 23.

Se puede comprobar que la pérdida de carga de una conducción varía proporcionalmente con el cuadrado del caudal según la fórmula:

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 \left[\frac{Q2}{Q1}\right]^2 \qquad \textbf{EC. 9}$$

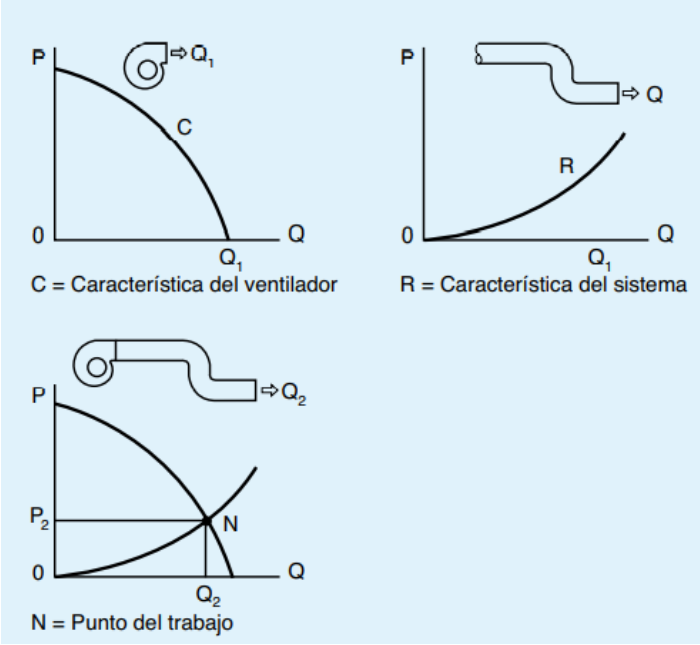


Ilustración 23. Punto de trabajo de un ventilador

Fuente:(Soler&Palau ventilation group, 2012)

Por lo tanto, para encontrar la característica resistente y una vez hallada la pérdida de carga inicial ($\Delta P1$) a un determinado caudal (Q1), bastará con suponer un segundo caudal (Q2), para hallar un segundo punto de la característica resistente ($\Delta P2$). Si fuese necesario se podrían suponer más caudales con los que se hallarían, siempre para la misma instalación, nuevos puntos de pérdida de carga. Uniendo todos los puntos encontrados se representará la característica resistente de la instalación estudiada. La intersección entre la curva del ventilador y la característica resistente de la instalación nos dará el punto de trabajo

4. METODOLOGÍA

1. Definir la línea base existente en los sistemas de ventilación actuales en términos de caudal de aire (suministro y extracción) como parámetro de inicio.

- Identificar las características técnicas, constructivas y de funcionamiento de los actuales equipos de ventilación.
- Distinguir a cuáles espacios conectan los ductos, rejillas y difusores de cada equipo.
- Medir el área transversal de los conductos de ventilación (a los que se pueda acceder).
- Medir con un anemómetro la velocidad del aire en los difusores de suministro y en las rejillas de extracción de cada área.
- Determinar el área de cada rejilla y difusor.
- Medir el volumen de cada espacio.
- Documentar y caracterizar por sistemas los datos registrados.
- Calcular el caudal de aire que está siendo suministrado o extraído en todos los espacios con base en las mediciones tomadas.

2. Calcular y determinar los equipos de ventilación mecánica requeridos en las instalaciones de la ASAB, basado en las metodologías adoptadas

- Identificar la ocupación de personas y la actividad que se realiza en cada área.
- Ejecutar los cálculos de caudal requerido para cada área con base en el volumen, ocupación y actividad.
- Sumar los caudales que dependen de un mismo equipo y una misma red de conductos.
- Calcular la pérdida de carga por tramos rectos y por accidentes de cada sistema
- Definir las características de selección de los nuevos equipos de ventilación mecánica con base a los cálculos ejecutados.

3. Seleccionar los equipos de ventilación requeridos y comercialmente asequibles para la Universidad.

- Recopilar en el mercado al menos 3 referencias de equipos para cada aplicación que cumplan con las características de funcionamiento necesarias.
- Validar el comportamiento de cada equipo basándose en su curva característica.
- Elaborar una matriz de decisión a fin de seleccionar el mejor equipo para cada aplicación de acuerdo a variables como: consumo eléctrico, rendimiento, instalación, ruido, entre otras.
- Presentar el equipo seleccionado, sus ventajas y características.

5. PRESUPUESTO

Presupuesto del proyecto					
Recursos	Tipo	Consumo mensual (hora)	Consumo proyectado a 3 meses (hora)	Valor promedio ($/hora)	Valor total
Elaborador	Personal	45	135	$ 30 000	$ 4 050 000
Tutor de proyecto	Personal	12	36	$ 80 000	$ 2 880 000
Depreciacion del uso del computador	Hardware	35	105	$ 2 000	$ 210 000
Uso de base de datos Universidad Distrital	Software	10	30	$ 500	$ 15 000
Gastos asociados a servicios requeridos					
Recursos	Tipo	Consumo promedio (KW/hora)	Consumo durante 3 meses (KW/hora)	Valor promedio (KW/hora)	Valor total
Energia electrica	Servicio	2.2	297	$ 580	$ 172 260
Gastos asociados a servicios de internet					
Recursos	Tipo	Cantidad por mes	Duracion (meses)	Costo mensual del plan	Valor total
Internet	Servicio	1	3	$ 95 000	$ 285 000
TOTAL					$ 7 612 260

6. RECONOCIMIENTO DE SISTEMAS DE VENTILACIÓN ACTUALES

6.1. Identificación de sistemas de ventilación

La identificación de los sistemas denominados Ventilador 1 (cocina), Ventilador 2 (baño de hombres) y Ventilador 5 (teatrino) se hizo siguiendo la ruta de ductos hasta las rejillas o difusores en los cuales terminaba cada uno. Para el caso de los sistemas de los Ventiladores 3 y 4 (salones S.02 y J.03), la identificación se realizó encendiendo a los equipos y verificando el flujo de aire en cada difusor de los salones del costado sur, que, aunque no arrojaban ningún valor de velocidad de aire al medirse con el anemómetro, se lograba percibir un leve ruido en los difusores de cada salón que comprendía cada uno de los sistemas.

A continuación, se presentan las fotos de la identificación de los sistemas en sitio:

Registro fotográfico Sistema Ventilador 1



Ilustración 24. Registro fotográfico sistema Ventilador 1

Fuente: Elaboración propia

Registro fotográfico Sistema Ventilador 2

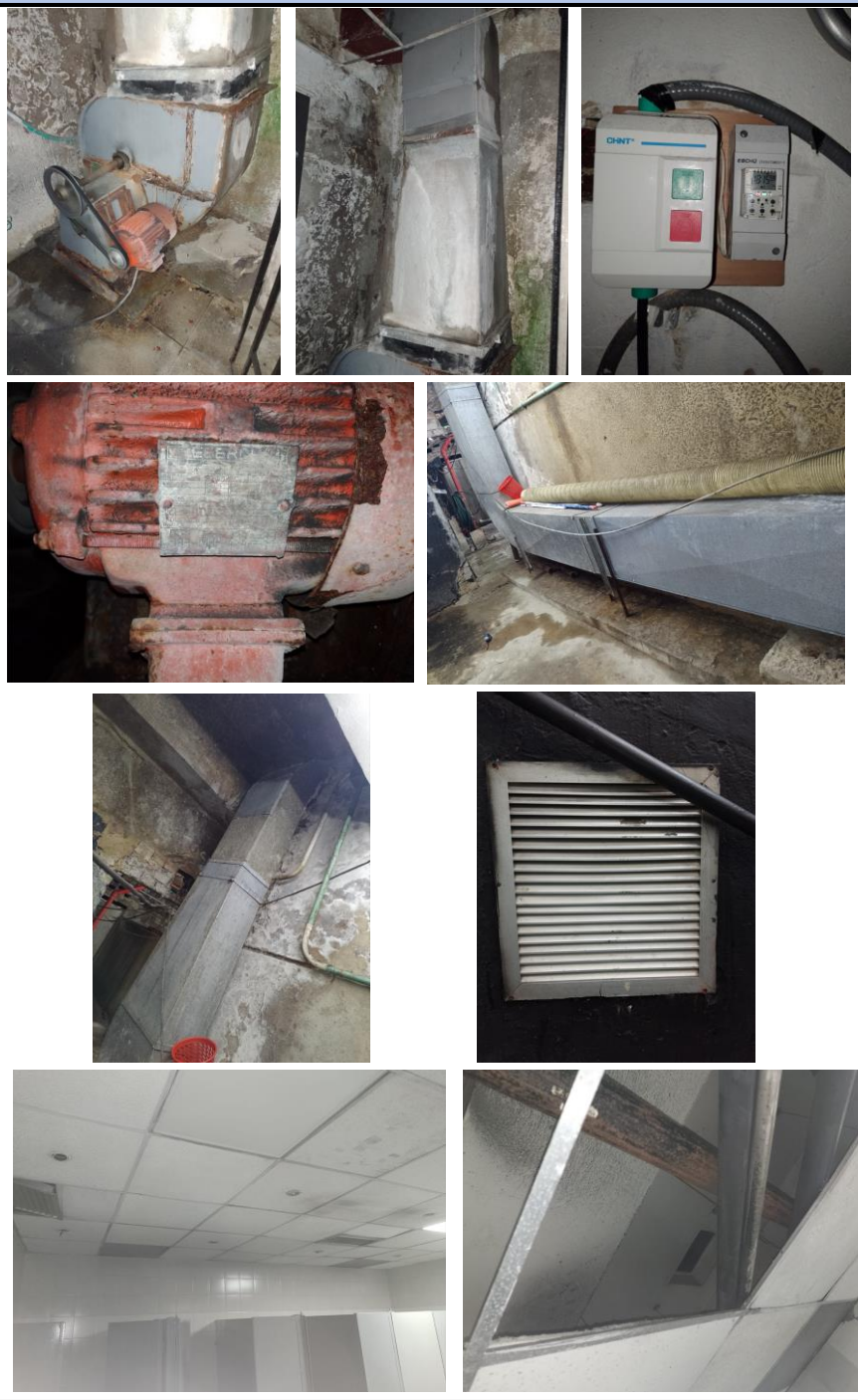


Ilustración 25. Registro fotográfico sistema Ventilador 2

Fuente: Elaboración propia

Registro fotográfico Sistema Ventilador 3



Ilustración 26. Registro fotográfico sistema Ventilador 3

Fuente: Elaboración propia

Registro fotográfico Sistema Ventilador 4



Ilustración 27. Registro fotográfico sistema Ventilador 4

Fuente: Elaboración propia

Registro fotográfico Sistema Ventilador 5



Ilustración 28. Registro fotográfico sistema Ventilador 5

Fuente: Elaboración propia

Las imágenes exhibidas en los cuadros respectivos, muestran el estado actual de los ventiladores, los motores y ductos de cada sistema, también la ubicación con su zona de acceso a cada ventilador en los salones o espacios correspondientes dentro de los sótanos de la ASAB.

6.2. Medición de conductos de ventilación

Los conductos de ventilación fueron medidos en la boca de entrada y salida de cada máquina, puesto que, era la única zona de acceso a dichos conductos, una vez que estos

continuaban su ruta por el techo, quedaban bloqueados por la estructura de concreto que no posee ventanas de inspección.

A continuación, se presentan las fotos de medición de los conductos separadas por sistemas:

Ventilador 1:



Ilustración 29. Medición de área transversal de ductos de suministro Ventilador 1

Fuente: Elaboración propia

Conductos de suministro de aire: 22”x8”
Conductos de toma de aire exterior: 20”x10”

Ventilador 2:



Ilustración 30. Medición de área transversal de ductos de extracción Ventilador 2

Fuente: Elaboración propia

Conductos de extracción de aire interior: 20”x12”
Conductos de expulsión de aire al exterior: 20”x12”

Ventilador 3:



Ilustración 31. Medición de área transversal de ductos de toma de aire exterior Ventilador 3

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 32. Medición de área transversal de ductos de suministro Ventilador 3

Fuente: Elaboración propia

Conductos de suministro de aire: 27”x12”
Conductos de toma de aire exterior: 25”x17”

Ventilador 4:

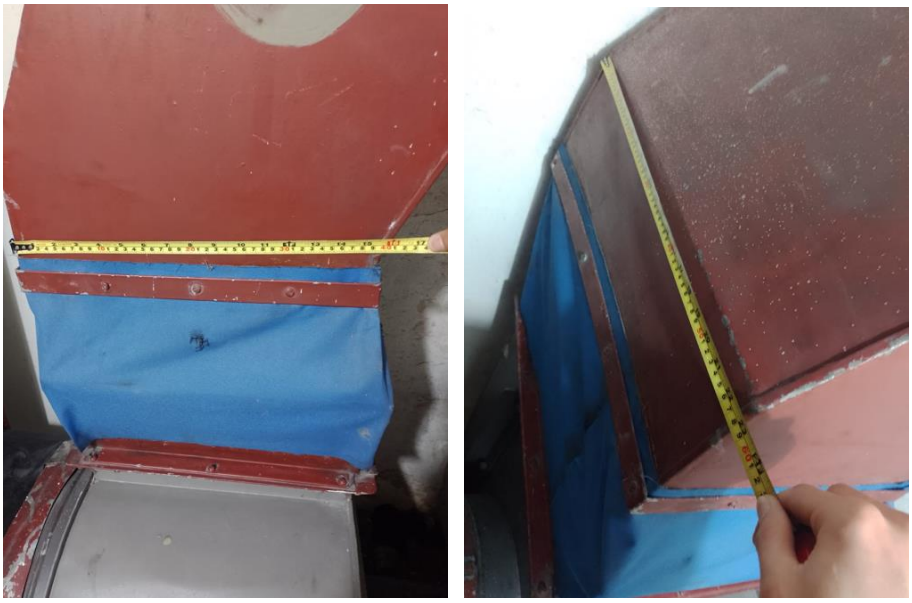


Ilustración 33. Medición de área transversal de ductos de toma de aire exterior Ventilador 4

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 34. Medición de área transversal de ductos de suministro Ventilador 4

Fuente: Elaboración propia

Conductos de suministro de aire: 28”x14”
Conductos de toma de aire exterior: 23”x16”

Ventilador 5:



Ilustración 35. Medición de área transversal de ductos de toma de aire exterior Ventilador 5

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 36. Medición de área transversal de ductos de suministro Ventilador 5

Fuente: Elaboración propia

Conductos de suministro de aire: 19.5”x14.5”
Conductos de toma de aire exterior: 24”x12”

6.3. Medición de área transversal y velocidad de aire en las rejillas de extracción y difusores de suministro

Se realizaron las respectivas mediciones de velocidad en cada una de las rejillas y difusores separado por sistemas, asimismo, se registró la dimensión de dichas rejillas, esto, con el fin de calcular el caudal que circulaba a través de estas y determinar el total suministrado o extraído en cada espacio.

Como se mencionó en el capítulo 6.1 en ninguno de los difusores/rejillas de suministro o rejillas de extracción internas se obtuvo un dato de velocidad de aire, se percibe que se trata una velocidad tan baja que el anemómetro no alcanzaba a registrar una medición.

A continuación, se presentan las fotos de medición de tamaño de las rejillas/difusores y su medición de velocidad de aire con el anemómetro:

Ventilador 1:



Ilustración 37. Medición de velocidad en rejilla externa (toma de aire) Ventilador 1

Fuente: Elaboración propia

Velocidad promedio de rejilla externa (toma de aire): 303.67 FPM



Ilustración 38. Medición de tamaño en rejilla de suministro interna Ventilador 1

Fuente: Elaboración propia

Rejilla de suministro: 17”x4”



Ilustración 39. Medición de velocidad en rejilla de suministro interna Ventilador 1

Fuente: Elaboración propia

Velocidad promedio de rejillas suministro: 0 FPM

Ventilador 2:



Ilustración 40. Medición de velocidad en rejilla externa (extracción de aire) Ventilador 2

Fuente: Elaboración propia

Velocidad promedio de rejilla externa (expulsión de aire al exterior): 475.60 FPM

Ventilador 3:

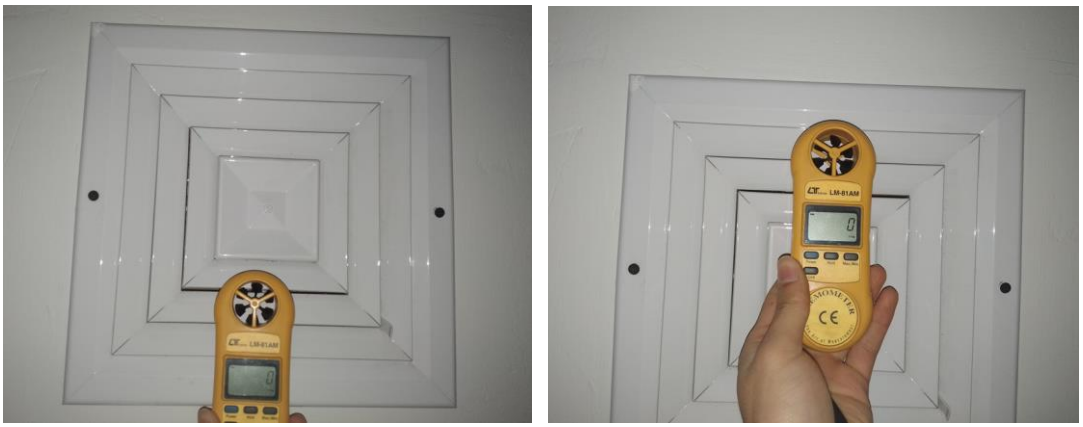


Ilustración 41. Medición de velocidad en difusores (suministro de aire) Ventilador 3

Fuente: Elaboración propia

Velocidad promedio de difusores de suministro: 0 FPM

Ventilador 4:

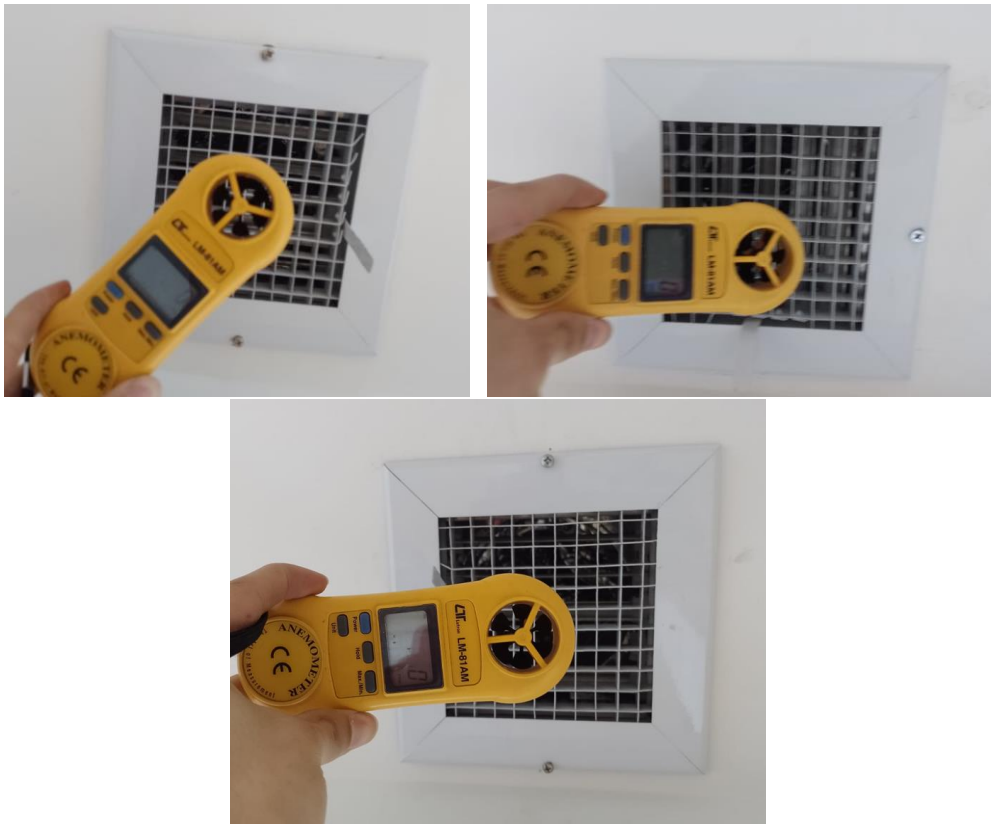


Ilustración 42. Medición de velocidad en rejillas (suministro de aire) Ventilador 4

Fuente: Elaboración propia

Velocidad promedio de rejillas suministro: 0 FPM



Ilustración 43. Medición de velocidad en difusores (suministro de aire) Ventilador 4

Fuente: Elaboración propia

Velocidad promedio de difusores de suministro: 0 FPM

Ventilador 5:



Ilustración 44. Medición de velocidad en difusores (suministro de aire) Ventilador 5

Fuente: Elaboración propia

Velocidad promedio de difusores de suministro: 0 FPM

6.4. Caracterización de los equipos de ventilación actuales

A continuación, se presenta la tabla 11 en la cual se recopilaron la mayoría de las características de construcción y funcionamiento de los sistemas actuales, aclarando que, varios de los datos que se pretendían registrar no fueron posibles por cuestiones de acceso a los sistemas o falta de documentación. Las características técnicas para este caso se limitan únicamente a las especificaciones eléctricas que se lograron evidenciar en los motores de cada ventilador, esta información se puede ver en la tabla 1 al principio del documento.

Tabla 11. Caudales de suministro y extracción sistemas de ventilación ASAB

Sistema	Ubicación de equipo	Función	Zonas Ventiladas	Volumen de la zona (m3)	Sección transversal de conductos internos (in)	Dimensión de rejilla o difusor interno (in)	Cant	Velocidad del aire c/u (FPM)	Caudal (CFM)	Sección transversal de conductos al exterior (in)	Dimensión de rejilla externa (in)	Cant	Velocidad del aire c/u (FPM)	CaudaL	
														CFM	M3/h
Vent 1	Cocina	Sum	Auditorio	965.25	22 x 8	17 x 4	14	0	IND	10 x 20	20 x 10	1	303.67	421.76	716.57
Vent 2	Baño de hombres	Ext	Baño de hombres	61.99	20 x 12	S.A.	1	S.D.	S.D.	20 x 12	14 x 14	1	475.60	646.82	1098.95
			Baño de mujeres	70.52		S.A.	2	S.D.	S.D.						
			Area administrativa	21.35		16 x 8	1	0	IND						
			Vestier	21.35		16 x 8	1	0	IND						
Vent 3	Salon S.02	Sum	Salon S.01	213.15	27 x 12	9 x 9	2	0	IND	25 x 17	S.A.	1	S.D.	S.D.	S.D.
			Salon S.02	152.25		9 x 9	1	0	IND						
			Salon S.03	320.74		9 x 9	2	0	IND						
Vent 4	Salon J.03	Sum	Salon J.05 A	31.38	28 X 14	4 x 4	1	0	IND	23 X 16	S.A.	1	S.D.	S.D.	S.D.
			Salon J.05 B	31.38		4 x 4	1	0	IND						
			Salon J.05 C	39.15		4 x 4	1	0	IND						
			Salon J.04	158.34		9 x 9	1	0	IND						
			Salon J.03	152.25		9 x 9	1	0	IND						
			Salon J.02	103.53		9 x 9	1	0	IND						
			Salon J.01	140.07		9 x 9	1	0	IND						
Vent 5	Enjunta	Sum	Teatrino	357.50	19.5 x 14.5	9 x 9	5	0	IND	24 x 12	S.A.	1	S.D.	S.D.	S.D.

Fuente: Elaboración propia

S.A. : Sin Acceso
S.D. : Sin Dato
IND: Indeterminado

7. CÁLCULO Y DETERMINACIÓN DE EQUIPOS REQUERIDOS POR SISTEMA

7.1. Determinación del caudal requerido por zona

En este apartado del proyecto se toma como referencia la tabla "*RATAS MINIMAS DE VENTILACION EN ZONAS DE RESPIRACIÓN"* publicada por la ASHRAE en 2011, donde expone los valores mínimos de caudal de aire por persona para garantizar una calidad de aire interior en todo tipo de recintos.

Tabla 12. Ratas mínimas de ventilación en zonas de respiración

Categoria de ocupación	Rata de aire exterior para personas R_p		Rata de aire exterior del área R_a		Notas	Valores por defecto			Clase de aire
						Densidad de ocupación (Ver Nota 4)	Rata combinada de aire exterior (Ver Nota 5)		
	cfm/ persona	L/s·persona	cfm/ pie^2	L/s·m^2		#/1000 pie^2 or #/100 m^2	cfm/ persona	L/s·persona	
Centros correccionales									
Celdas	5	2.5	0.12	0.6		25	10	4.9	2
Cuartos de día	5	2.5	0.06	0.3		30	7	3.5	1
Estaciones de vigilancia	5	2.5	0.06	0.3		15	9	4.5	1
Registro /Espera	7.5	3.8	0.06	0.3		50	9	4.4	2
Centros educativos									
Preinfantes (hasta los 4 años)	10	5	0.18	0.9		25	17	8.6	2
Preinfantes cuartos de enfermos	10	5	0.18	0.9		25	17	8.6	3
Salones de clase (edad 5–8)	10	5	0.12	0.6		25	15	7.4	1
Salones de clase (edad 9 +)	10	5	0.12	0.6		35	13	6.7	1
Salón de clase de conferencias	7.5	3.8	0.06	0.3		65	8	4.3	1
Auditorio de conferencias (Sillas fijas)	7.5	3.8	0.06	0.3		150	8	4.0	1
Salón de clase de arte	10	5	0.18	0.9		20	19	9.5	2
Laboratorios de ciencias	10	5	0.18	0.9		25	17	8.6	2
Laboratorios universidades/ colegios	10	5	0.18	0.9		25	17	8.6	2
Taller Madera / metal	10	5	0.18	0.9		20	19	9.5	2
Laboratorio de computadoras	10	5	0.12	0.6		25	15	7.4	1
Centro de media	10	5	0.12	0.6	A	25	15	7.4	1
Música/teatro/danza	10	5	0.06	0.3		35	12	5.9	1
Salón multi-usos	7.5	3.8	0.06	0.3		100	8	4.1	1

Fuente: (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción refrigeración y acondicionamiento de aire Inc., 2011)

A partir de los valores de razón de aire exterior para personas $CFM/persona$ (tabla 12), se realiza el cálculo de caudal requerido en cada espacio teniendo presente su tipificación.

Conociendo que en las clases de danza/teatro asiste un máximo de 25 personas (a excepción del salón S.03, 45 personas), en las clases de música un máximo de 8 estudiantes, además, la capacidad máxima del auditorio y el teatrino está definida por el número de sillas, 153 y 50 respectivamente, más las personas en el escenario, estimando 20 como máximo para el auditorio y 10 para el teatrino, se determina la ocupación máxima de personas por zonas.

La tabla 13, muestra los valores de caudal calculados por zona de acuerdo a las consideraciones anteriores, además, muestra el total requerido por sistema, únicamente para los ventiladores de suministro, es decir, los ventiladores 1, 3, 4 y 5.

Tabla 13. Caudales de aire requeridos por sistemas 1, 3, 4 y 5

Sistema	Ubicación de equipo	Función	Zonas Ventiladas	Categoria de ocupación	Razon de aire exterior (CFM/persona)	Maximo de ocupación	Caudal por zona (CFM)	Caudal por sistema	
								CFM	M3/h
Ventilador 1	Cocina	Sum	Auditorio	Musica/teatro/danza	10	173	1730	1730	2939.29
Ventilador 3	Salon S.02	Sum	Salon S.01	Musica/teatro/danza	10	25	250	950	1614.06
			Salon S.02	Musica/teatro/danza	10	25	250		
			Salon S.03	Musica/teatro/danza	10	45	450		
Ventilador 4	Salon J.03	Sum	Salon J.05 A	Musica/teatro/danza	10	8	80	1240	2107
			Salon J.05 B	Musica/teatro/danza	10	8	80		
			Salon J.05 C	Musica/teatro/danza	10	8	80		
			Salon J.04	Musica/teatro/danza	10	25	250		
			Salon J.03	Musica/teatro/danza	10	25	250		
			Salon J.02	Musica/teatro/danza	10	25	250		
			Salon J.01	Musica/teatro/danza	10	25	250		
Ventilador 5	Enjunta	Sum	Teatrino	Auditorio de conferencias (sillas fijas)	7.5	60	450	450	765

Fuente: Elaboración propia

En el caso del ventilador 2 que extrae el aire de los baños, entre otras áreas, se emplea la metodología comúnmente utilizada y que también es planteada por (E. Martinez, 2019), en la cual se calcula el caudal a extraer por cada zona, partiendo del volumen y las renovaciones por hora exigidas en (Norma tecnica E.M. 030 instalaciones de ventilacion, 2008).

Para ello, se tomó como base la ecuación 2, citada en el apartado **1.1.2** de este mismo documento:

$$Q = V * N$$

Q = Caudal de aire
V = Volumen total de la zona
N = Renovaciones de aire por hora

Donde el caudal de aire se determinó de acuerdo a las mediciones en sitio y las renovaciones horas se basan en la siguiente tabla:

Tabla 14. Renovaciones para locales de permanencia y de trabajo

TIPO DE LOCAL	RENOVACIONES POR HORA (Cantidad)
Baños	
- públicos	10-15
- en fábricas	8-10
- en oficinas	5-8
- en viviendas	3-4
Locales de trabajo	3-8
Salas de Exposiciones	2-3
Bibliotecas, Archivos	4-8
Oficinas	4-8
Duchas	10-15
Guardarropas	4-6
Restaurantes	5-10
Piscinas cubiertas	3-5
Aulas	6-8
Cantinas	6-8
Grandes almacenes	6-10
Cines y teatros	
- con prohibición de fumar	4-6
- sin prohibición de fumar	5-8
Hospitales	
- Salas de reconocimiento y de tratamiento	3-5
- Salas de hospitalización	2-5
- Baños	5-8
- Aseos	8-15
Cocinas	
- Cocinas: h = 2,5 a 3,5 m	15-25
Tiendas	6-8
Escuelas	
- Aulas	4-5
- Pasillos, cajas de escaleras	2-3
- Aseos	5-8
- Gimnasios	2-3
- Piscinas de aprendizaje cubiertas	2-3
- Baños y lavados	5-8
Salas de actos	6-12
Salas de juntas	5-10

Fuente: (Norma tecnica E.M. 030 instalaciones de ventilacion, 2008)

La tabla 15, muestra los valores de caudal calculados por zona basado en la ecuación 2, además, muestra el total requerido por el sistema del ventilador 2.

Tabla 15. Caudales de aire requeridos por sistema 2

Sistema	Ubicación de equipo	Función	Zonas Ventiladas	Volumen de la zona (m3)	Renovaciones de aire por hora (Renov/h)	Caudal por zona (m3/h)	Caudal por sistema (m3/h)
Ventilador 2	Baño de hombres	Ext	Baño de hombres	61.99	12	743.88	2102.52
			Baño de mujeres	70.52	12	846.24	
			Area administrativa	21.35	12	256.20	
			Vestier	21.35	12	256.20	

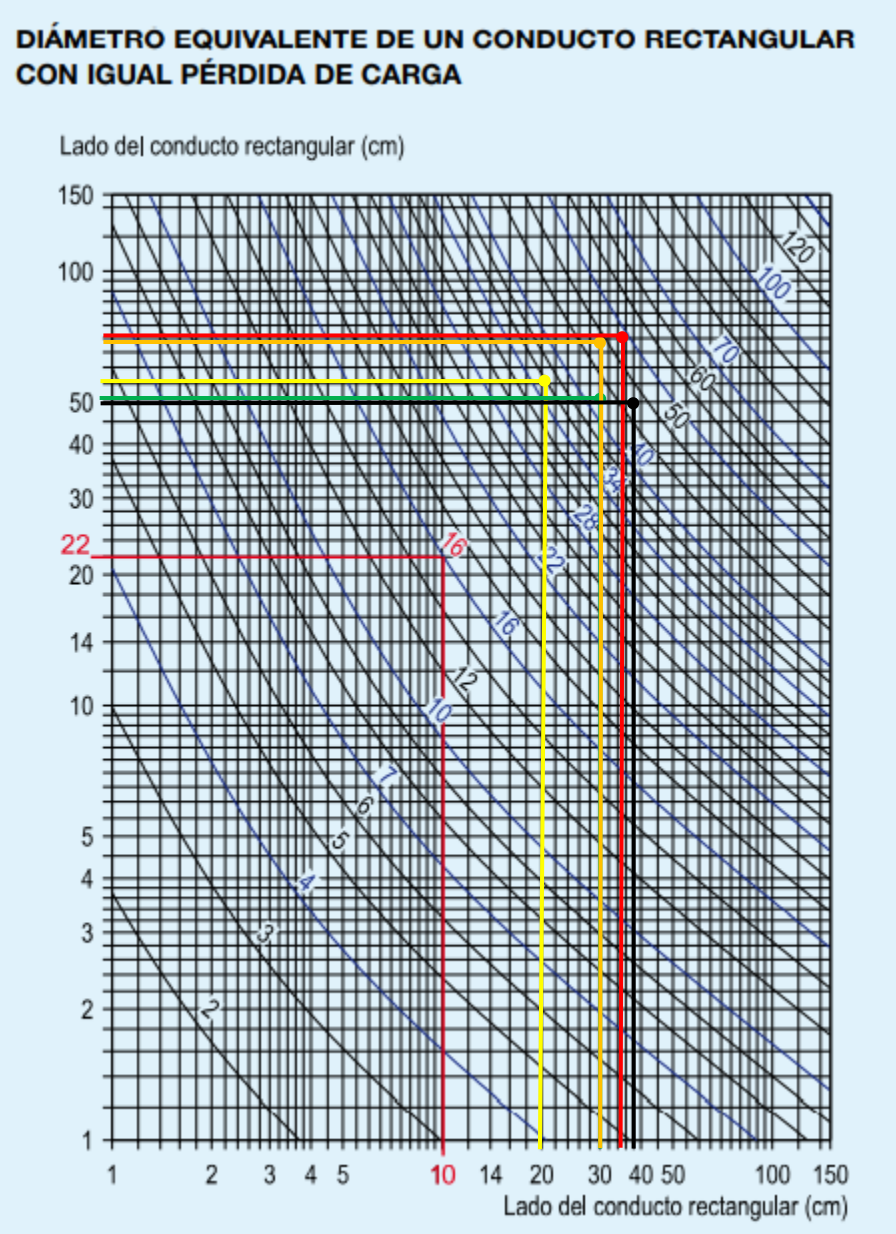
Fuente: Elaboración propia

7.2. Cálculo de pérdida de carga por conductos

En este apartado se realizarán los cálculos para determinar la pérdida de carga total en cada sistema; dato necesario para precisar el punto de trabajo del ventilador y realizar una selección correcta. Primero, se debe determinar la pérdida de carga por tramos rectos y sumarle la pérdida de carga por accidentes en los conductos.

Como primer paso, nos basaremos en el nomograma (ilustración 5) con el cual se determinará el diámetro equivalente de los conductos rectangulares en los sistemas de la Universidad Distrital.

A partir de la tabla 11 se extraen los datos de la dimensión de los conductos internos de cada sistema en pulgadas (in), y se realiza la conversión a centímetros (cm), luego se ubica el diámetro equivalente en el nomograma.



El diámetro equivalente identificado en el nomograma se documenta en la siguiente tabla, diferenciándolo por el color del trazado.

Tabla 16. Diámetro equivalente de conductos internos ASAB

Sistema	Ubicación de equipo	Función	Zonas Ventiladas	Sección transversal de conductos internos (in)	Sección transversal de conductos internos (cm)	Diametro equivalente (cm)
Vent 1	Cocina	Sum	Auditorio	22 x 8	55.88 x 20.32	36
Vent 2	Baño de hombres	Ext	Baño de hombres	20 x 12	50.8 x 30.48	43
			Baño de mujeres			
			Area administrativa			
			Vestier			
Vent 3	Salon S.02	Sum	Salon S.01	27 x 12	68.58 x 30.48	48
			Salon S.02			
			Salon S.03			
Vent 4	Salon J.03	Sum	Salon J.05 A	28 X 14	71.12 X 35.56	54
			Salon J.05 B			
			Salon J.05 C			
			Salon J.04			
			Salon J.03			
			Salon J.02			
			Salon J.01			
Vent 5	Enjunta	Sum	Teatrino	19.5 x 14.5	49.53 x 36.83	47

Fuente: Elaboración propia

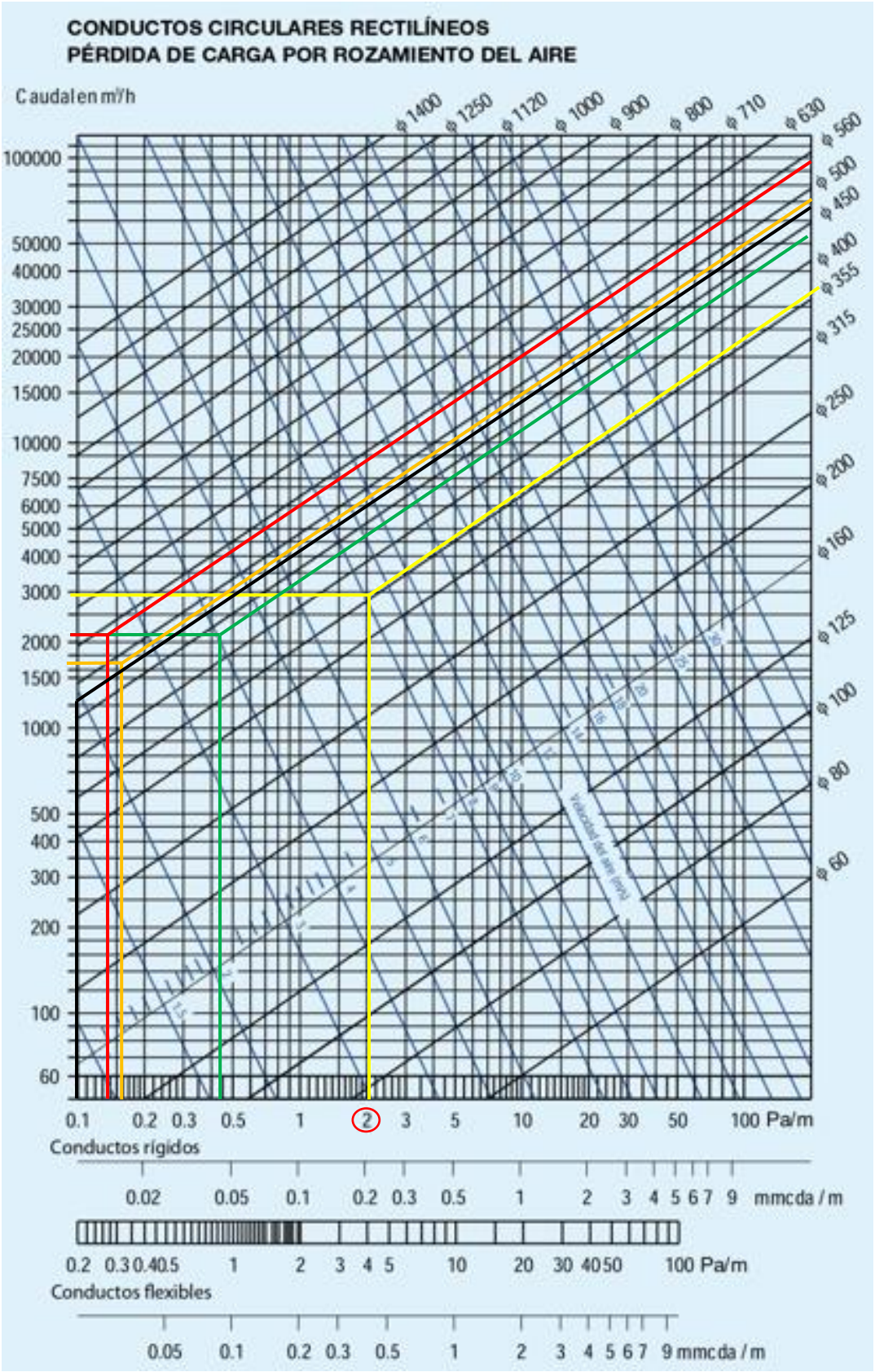
El paso a seguir una vez se ha reconocido el diámetro equivalente, es calcular la pérdida de carga en los tramos rectos, para ello, se ubica el caudal requerido por sistema (previamente calculados y documentados en las tablas 13 y 15) y el diámetro equivalente de los conductos internos (tabla 16) en el nomograma de la ilustración 4.

La pérdida de carga por conductos rígidos identificada en el nomograma se documenta en la tabla 17, diferenciándolo por el color del trazado.

Tabla 17. Pérdida de carga de conductos rígidos

Sistema	Ubicación de equipo	Función	Zonas Ventiladas	Diametro equivalente (cm)	Caudal por sistema (m3/h)	Pérdida de carga conductos rectos rigidos (Pa/m)
Vent 1	Cocina	Sum	Auditorio	36	2939.29	2.00
Vent 2	Baño de hombres	Ext	Baño de hombres	43	2102.52	0.45
			Baño de mujeres			
			Area administrativa			
			Vestier			
Vent 3	Salon S.02	Sum	Salon S.01	48	1614.06	0.16
			Salon S.02			
			Salon S.03			
Vent 4	Salon J.03	Sum	Salon J.05 A	54	2106.77	0.14
			Salon J.05 B			
			Salon J.05 C			
			Salon J.04			
			Salon J.03			
			Salon J.02			
			Salon J.01			
Vent 5	Enjunta	Sum	Teatrino	47	764.55	0.10

Fuente: Elaboración propia


CONDUCTOS CIRCULARES RECTILÍNEOS
PÉRDIDA DE CARGA POR ROZAMIENTO DEL AIRE
Caudal en m³/h
φ 1400
φ 1250
φ 1120
φ 1000
φ 900
φ 800
φ 710
φ 630
φ 560
φ 500
φ 450
φ 400
φ 355
φ 315
φ 250
φ 200
φ 160
φ 125
φ 100
φ 80
φ 60
100000
50000
40000
30000
25000
20000
15000
10000
7500
6000
5000
4000
3000
2000
1500
1000
500
400
300
200
100
60
0.1 0.2 0.3 0.5 1 2 3 5 10 20 30 50 100 Pa/m
Conductos rígidos
0.02 0.05 0.1 0.2 0.3 0.5 1 2 3 4 5 6 7 9 mmcda / m
0.2 0.3 0.4 0.5 1 2 3 4 5 10 20 30 40 50 100 Pa/m
Conductos flexibles
0.05 0.1 0.2 0.3 0.5 1 2 3 4 5 6 7 9 mmcda / m

Debido a la limitación en el acceso a la ruta de ductos es necesario hacer una estimación de la longitud total de todos los tramos rectos por sistema, con base en la ubicación de los difusores/rejillas y la visualización del ducto principal posterior a su acople con las maquinas actuales.

Por consiguiente, se tienen los siguientes valores de tramos rectos por sistema desde su acople a máquina hasta sus últimos difusores/rejillas:

Ventilador 1: 60.7 mts
Ventilador 2: 35.4 mts
Ventilador 3: 47.8 mts
Ventilador 4: 54.1 mts
Ventilador 5: 17.5 mts

La pérdida de carga total por tramos rectos de cada sistema es entonces:

$$\Delta P_{tr}\ Vent\ 1 = 60.7\ m * 2.00\ \frac{Pa}{m} = 121.40\ Pa \quad \textbf{EC. 10}$$

$$\Delta P_{tr}\ Vent\ 2 = 35.4\ m * 0.45\ \frac{Pa}{m} = 15.93\ Pa \quad \textbf{EC. 11}$$

$$\Delta P_{tr}\ Vent\ 3 = 47.8\ m * 0.16\ \frac{Pa}{m} = 7.65\ Pa \quad \textbf{EC. 12}$$

$$\Delta P_{tr}\ Vent\ 4 = 54.1\ m * 0.14\ \frac{Pa}{m} = 7.57\ Pa \quad \textbf{EC. 13}$$

$$\Delta P_{tr}\ Vent\ 5 = 17.5\ m * 0.10\ \frac{Pa}{m} = 1.75\ Pa \quad \textbf{EC. 14}$$

El siguiente paso, es calcular la pérdida de carga en accidentes presentes en los conductos (codos, desvíos, bifurcaciones, reducciones, etc), con este fin, se adoptará el método del coeficiente «n», usando como referencia la ecuación 8, la cual es explicada en el apartado **3.3.2.**

$$\Delta P = n * P_d \text{ (mm c.d.a.)}$$

Con el objetivo de conocer la presión dinámica de cada sistema, se ubicará en el nomograma de la ilustración 6 el caudal requerido por sistema (previamente calculados y documentados en las tablas 13 y 15) y el diámetro equivalente de los conductos internos (tabla 16).

Esta presión dinámica identificada en el nomograma se documenta en la tabla 18, diferenciándola por el color del trazado.

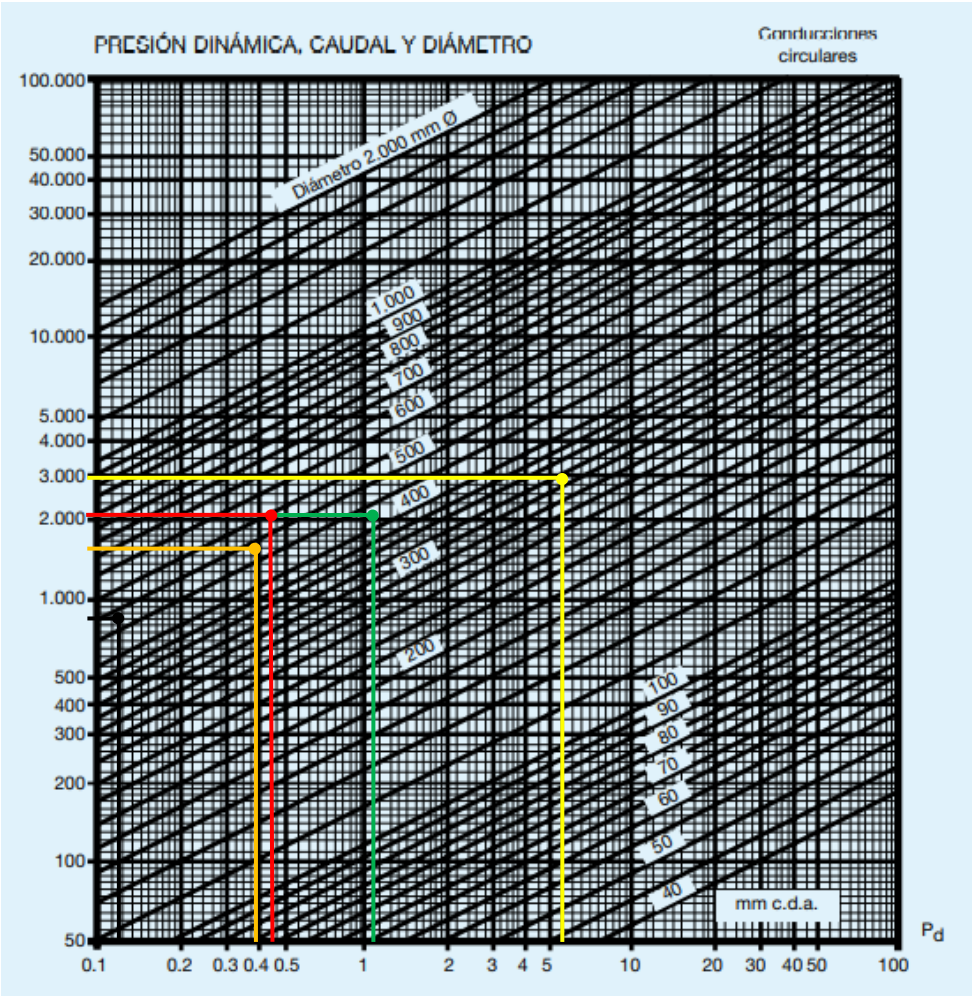


Tabla 18. Presión dinámica por sistema

Sistema	Ubicación de equipo	Función	Zonas Ventiladas	Diametro equivalente (cm)	Caudal por sistema (m3/h)	Presion dinamica (mm c.d.a.)
Vent 1	Cocina	Sum	Auditorio	36	2939.29	6.00
Vent 2	Baño de hombres	Ext	Baño de hombres	43	2102.52	1.10
			Baño de mujeres			
			Area administrativa			
			Vestier			
Vent 3	Salon S.02	Sum	Salon S.01	48	1614.06	0.39
			Salon S.02			
			Salon S.03			
Vent 4	Salon J.03	Sum	Salon J.05 A	54	2106.77	0.45
			Salon J.05 B			
			Salon J.05 C			
			Salon J.04			
			Salon J.03			
			Salon J.02			
			Salon J.01			
Vent 5	Enjunta	Sum	Teatrino	47	764.55	0.12

Fuente: Elaboración propia

Como paso siguiente, se identifican los tipos de accidente de cada sistema gracias al levantamiento fotográfico, a la dimensión de los ductos y al seguimiento de las rutas en sitio, extrayendo su valor de coeficiente «n» basados en la ilustración 7, sumando la totalidad de estos accidentes por red de conductos. Los coeficientes «n» de pérdida de carga son:

Ventilador 1

Curva en vertical: n = 1.27 x 1 = 1.27
Curva en horizontal: n = 0.91 x 2 = 1.82
Derivación T: n = 1.40 x 1 = 1.40
Total: n = 4.49

Ventilador 2

Curva en vertical: n = 1.18 x 2 = 2.36
Curva en horizontal: n = 0.98 x 5 = 4.90
Total: n = 7.26

Ventilador 3

Derivación T: n = 1.40 x 2 = 2.80
Derivación Y a 90°: n = 1.30 x 5 = 6.50
Total: n = 9.30

Ventilador 4

Derivación T: n = 1.40 x 2 = 2.80
Derivación Y a 90°: n = 1.30 x 7 = 9.10
Total: n = 11.90

Ventilador 5

Curva horizontal: n = 1.06 x 1 = 1.06
Derivación Y a 90°: n = 1.30 x 5 = 6.50
Codo a 30°: n = 0.30 x 1 = 0.30
Total: n = 7.86

La pérdida de carga total por accidentes de cada sistema es entonces:

$$\Delta P_{ac}\ Vent\ 1 = 4.49 * 6.00\ mm\ c.d.a. = 26.94\ mm\ c.d.a. = 264.01\ Pa \quad \textbf{EC. 15}$$

$$\Delta P_{ac}\ Vent\ 2 = 7.26 * 1.10\ mm\ c.d.a. = 7.97\ mm\ c.d.a. = 78.10\ Pa \quad \textbf{EC. 16}$$

$$\Delta P_{ac}\ Vent\ 3 = 9.30 * 0.39\ mm\ c.d.a. = 3.63\ mm\ c.d.a. = 35.55\ Pa \quad \textbf{EC. 17}$$

$$\Delta P_{ac}\ Vent\ 4 = 11.90 * 0.45\ mm\ c.d.a. = 5.35\ mm\ c.d.a. = 52.48\ Pa \quad \textbf{EC. 18}$$

$$\Delta P_{ac}\ Vent\ 5 = 7.86 * 0.12\ mm\ c.d.a. = 0.94\ mm\ c.d.a. = 9.21\ Pa \qquad \textbf{EC. 19}$$

La pérdida de carga total en cada sistema será la suma entre las pérdidas de carga por tramos rectos y por accidentes, así:

$$\Delta P\ Vent\ 1 = 121.40\ Pa + 264.01\ Pa = 385.41\ Pa \qquad \textbf{EC. 20}$$

$$\Delta P\ Vent\ 2 = 15.93\ Pa + 78.10\ Pa = 94.03\ Pa \qquad \textbf{EC. 21}$$

$$\Delta P\ Vent\ 3 = 7.65\ Pa + 35.55\ Pa = 43.20\ Pa \qquad \textbf{EC. 22}$$

$$\Delta P\ Vent\ 4 = 7.57\ Pa + 52.48\ Pa = 60.05\ Pa \qquad \textbf{EC. 23}$$

$$\Delta P\ Vent\ 5 = 1.75\ Pa + 9.21\ Pa = 10.96\ Pa \qquad \textbf{EC. 24}$$

Por consiguiente, los equipos de ventilación deben ser seleccionados respetando su punto de trabajo de acuerdo a los cálculos anteriores, así:

Ventilador 1: Q = 2939.29 m3/h y ΔP = 385.41 Pa
Ventilador 2: Q = 2102.52 m3/h y ΔP = 94.03 Pa
Ventilador 3: Q = 1614.06 m3/h y ΔP = 43.20 Pa
Ventilador 4: Q = 2106.77 m3/h y ΔP = 60.05 Pa
Ventilador 5: Q = 764.55 m3/h y ΔP = 10.96 Pa

Según su aplicación, instalación de los ductos y forma de trabajo, los ventiladores requeridos en la universidad deben ser de tipo centrifugo, en los que el aire entra en el rodete con una trayectoria axial y sale en dirección perpendicular.

7.3. Curva característica de los sistemas

A continuación, se graficará la curva característica de los 5 sistemas, con base a la ecuación 9, mencionada en el apartado **3.5.3.**

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 \left[\frac{Q2}{Q1}\right]^2$$

Se asignarán valores de caudal desde 0 m3/h hasta valores por encima del caudal requerido en cada sistema y se calculará el valor de pérdida de carga correspondiente a determinado caudal. Se realizará este cálculo 10 veces para obtener 10 puntos sobre un plano cartesiano que representaran la curva de trabajo de los sistemas.

Tabla 19. Tabulación de curva característica sistema Ventilador 1

Ventilador 1										
Caudal (m3/h)	0.00	600.00	1200.00	1800.00	2400.00	2939.29	3600.00	4200.00	4800.00	5400.00
ΔP (Pa)	0.00	16.06	64.24	144.54	256.96	385.41	578.15	786.93	1027.83	1300.85

Fuente: Elaboración propia

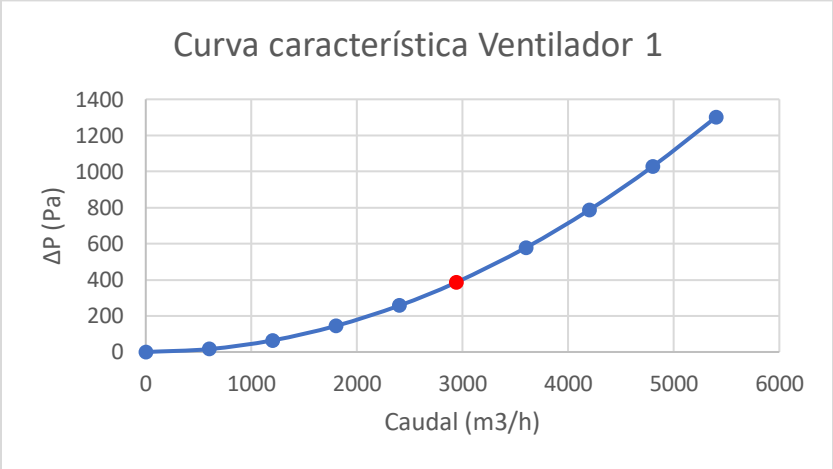


Ilustración 45. Curva característica sistema Ventilador 1
Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Tabulación de curva característica sistema Ventilador 2

Ventilador 2										
Caudal (m3/h)	0.00	420.00	840.00	1260.00	1680.00	2102.52	2520.00	2940.00	3360.00	3780.00
ΔP (Pa)	0.00	3.75	15.01	33.77	60.04	94.03	135.08	183.86	240.14	303.93

Fuente: Elaboración propia

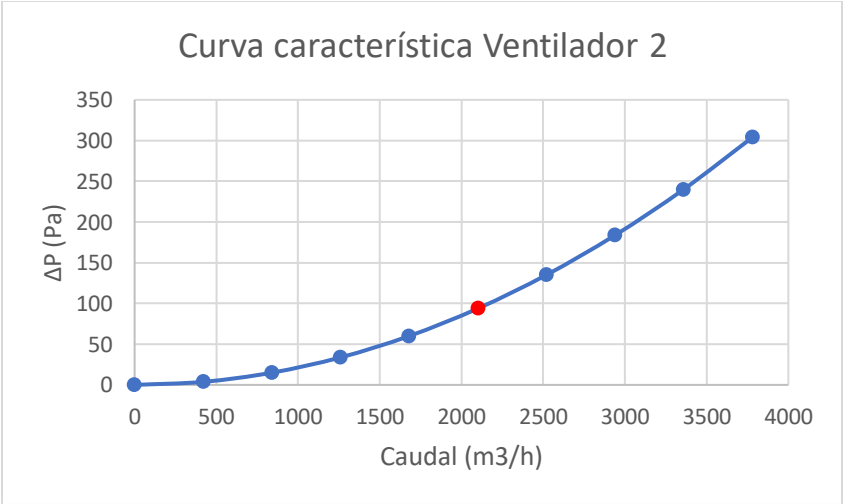


Ilustración 46. Curva característica sistema Ventilador 2
Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Tabulación de curva característica sistema Ventilador 3

Ventilador 3										
Caudal (m3/h)	0.00	320.00	640.00	960.00	1280.00	1614.06	1920.00	2240.00	2560.00	2880.00
ΔP (Pa)	0.00	1.70	6.79	15.28	27.17	43.20	61.13	83.20	108.67	137.54

Fuente: Elaboración propia

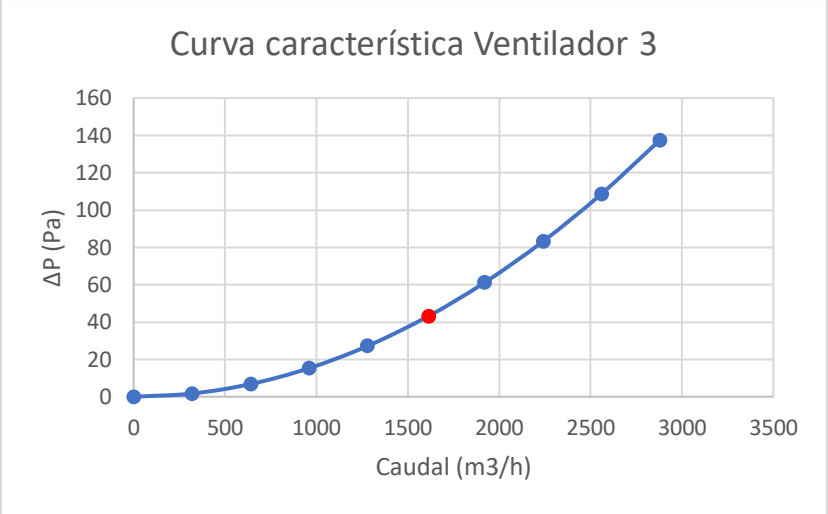


Ilustración 47. Curva característica sistema Ventilador 3
Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Tabulación de curva característica sistema Ventilador 4

Ventilador 4										
Caudal (m3/h)	0.00	420.00	840.00	1260.00	1680.00	2106.77	2520.00	2940.00	3360.00	3780.00
ΔP (Pa)	0.00	2.39	9.55	21.48	38.19	60.05	85.92	116.94	152.74	193.31

Fuente: Elaboración propia

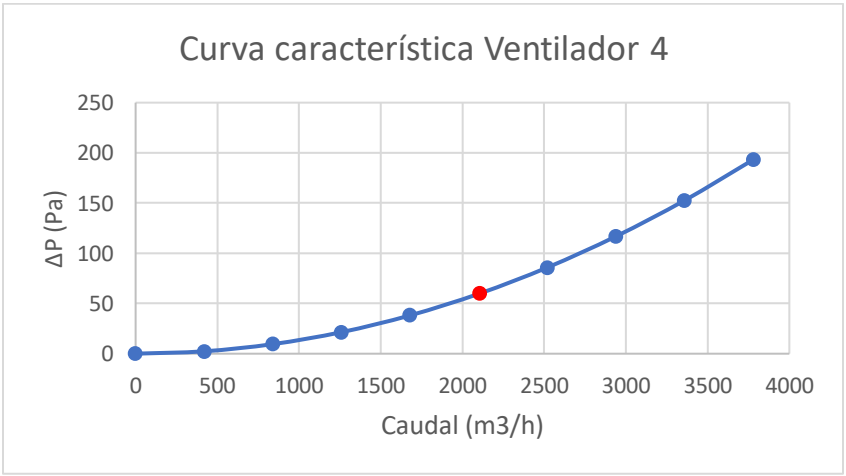


Ilustración 48. Curva característica sistema Ventilador 4
Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Tabulación de curva característica sistema Ventilador 5

Ventilador 5										
Caudal (m3/h)	0.00	150.00	300.00	450.00	600.00	764.55	900.00	1050.00	1200.00	1350.00
ΔP (Pa)	0.00	0.42	1.69	3.80	6.75	10.96	15.19	20.67	27.00	34.17

Fuente: Elaboración propia

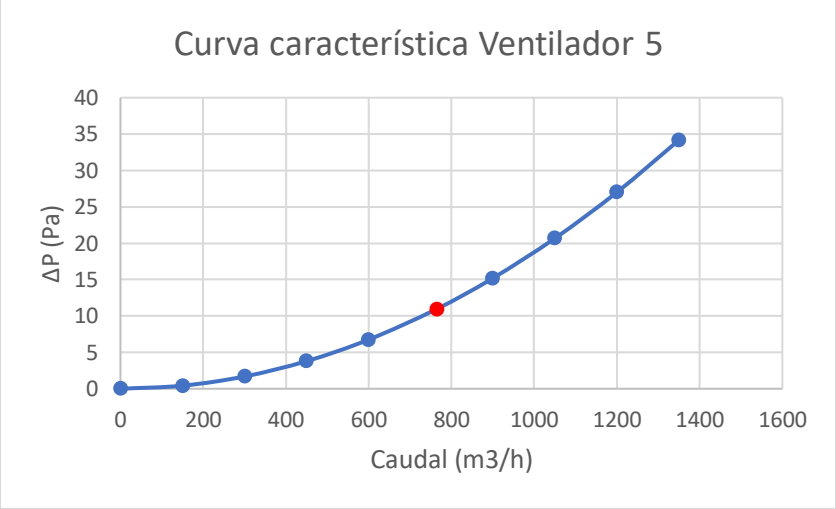


Ilustración 49. Curva característica sistema Ventilador 5

Fuente: Elaboración propia

A partir del punto de trabajo calculado para lo sistemas, y con la gráfica de su curva característica, se realiza la selección de los equipos de ventilación al intersecar estas curvas con las curvas de funcionamiento de los equipos.

8. SELECCIÓN DE EQUIPOS DE VENTILACIÓN

8.1. Selección de equipos ofertados en el comercio

La sección presentada continuación muestra los equipos comercialmente disponibles seleccionados para cada sistema. Se valido la curva característica de cada ventilador de tal manera que se ajustara al punto de trabajo requerido, las curvas fueron extraídas de sus fichas técnicas disponibles en internet. Los proveedores seleccionados son: Soler & Palau®, Maico® y Sodeca®.

Ventilador 1

SOLER & PALAU®: Modelo 5CET-4000-CET-4000-(208-230_3)-918

Punto requerido

Caudal	2.939 sm^3/h
Presión Estática	385 Pa
Temperatura	20 °C
Altitud	0 m
Densidad	1,2 Kg / m^3
Frecuencia	60 Hz

Punto de trabajo

Caudal	3.157 m^3/h
Presión estática	445 Pa
Presión dinámica	0,000 Pa
Presión total	445 Pa
Potencia motor	1 1/2
Tensión	208-230/460
Intensidad máxima (A)	4.3/2.1
Velocidad ventilador	1760 rpm

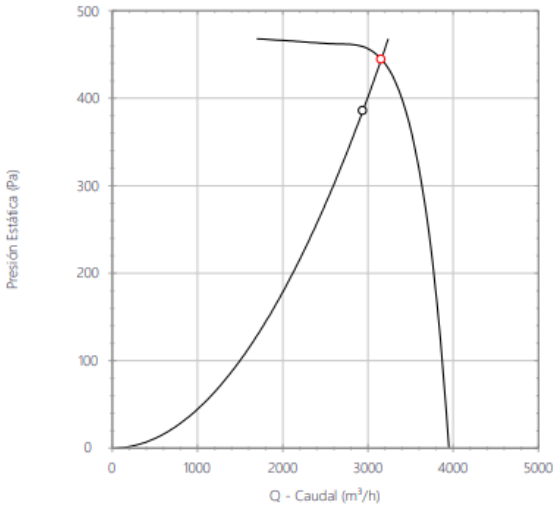
Construcción

Diámetro impulsión	179 mm
Tamaño ventilador	4000
Peso	28,00 kg

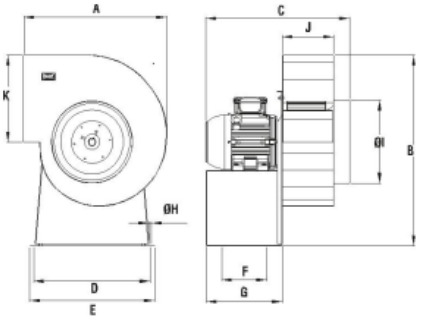
Características del motor

Índice de protección	IP55
Clase motor	F

Curva



Dimensiones



A	B	C	D	E	F	G	ØH	ØI
454	550	530	341	375	130	214	11.1	262

J	K
173	270

Características acústicas

	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Descarga (LwA)	80	80	70	63	63	58	53	48	83
Descarga LpA @ 1,5m	65	65	55	48	48	43	38	33	69

Ficha técnica de selección completa: Ver ANEXO 1

MAICO®: Modelo BOX-T 10/10 2.2KW 60Hz

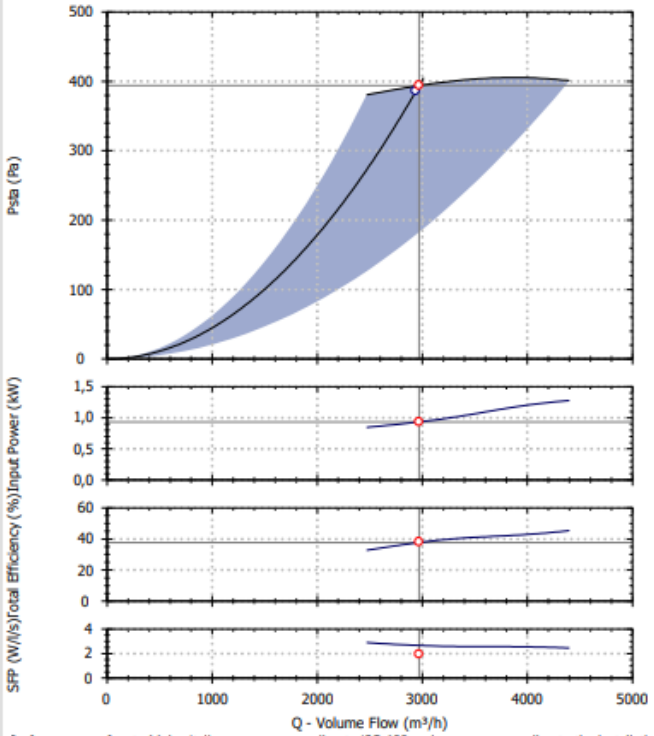
Selección - BOX-T 10/10 2.2KW 60Hz -

TechnicalLanguage.ltProductCode	1BT3988
TechnicalLanguage.ltFanType	DIDW Forward Curved
Solicitud de flujo volumétrico	2.940 m³/h
Solucitud de presión	386 Pa
Caudal de flujo volumétrico	2.970 m³/h
Presión estática	394 Pa
Presión Total	427 Pa
Presión Dinámica	33,1 Pa
Flujo de velocidad	8,62 m/s
SFP	1,94 W/l/s
Eficiencia Total del Ventilador	37,7 %
Eficiencia Estática del Ventilador	34,8 %
TechnicalLanguage.ltFanSpeed	1491 rpm
TechnicalLanguage.ltAirProperties	0,89kg/m³/ 15°C/ 2600m/ 50% RH
TechnicalLanguage.ltFanOutputPower	0,934 kW
TemperatureRange	-20°C +50°C

Selección del motor

Electrical Supply	220/400/3/60
Motor Rating	2.20 kW
Enclosure/Class	55 / F
Frame Size	90L
TechnicalLanguage.ltFanPoles	4
TechnicalLanguage.ltMotorSpeed	1491 rpm
Full Load Current	4.70 A

Fan Performance



Performances refers to Maico Italia measures according to ISO 123 and may vary according to the installation

Sound Performance

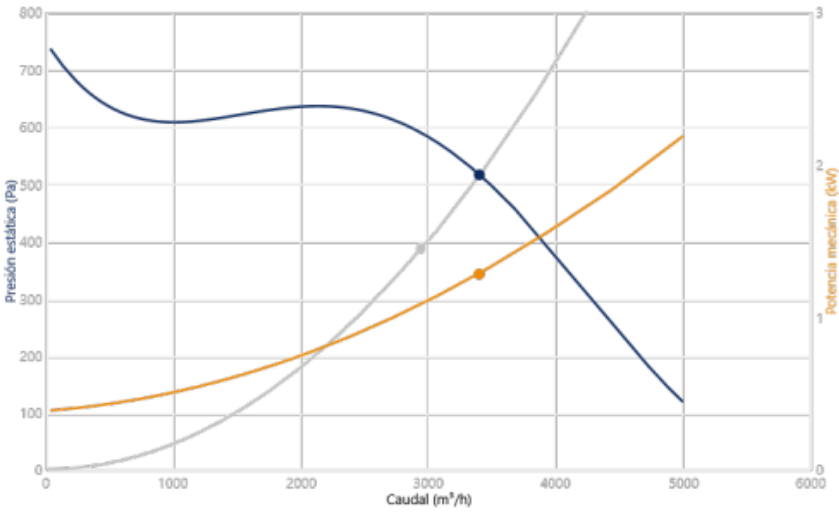
Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total	
Lw	58	68	77	80	76	73	67	59	83	dB
Lw(A)	32	52	68	77	76	74	68	58	81	dB(A)
LpA @ 3m	11	31	48	56	55	54	47	37	61	dB(A)

Sounds spectra refers to Maico Italia measures performed in our laboratories according to 123. The values provided are just indicative of the situation and Maico Italia declines every responsibility in case different levels measured by our customers as the installation types and the evironmental variables may increase/decrease these values.

Ficha técnica de selección completa: Ver ANEXO 2

SODECA®: Modelo CMP-1128-4T 60HZ

CURVA CARACTERÍSTICA PARA 1,2KG/M³



Punto Diseño

Q (m³/h)	2939
Pe (Pa)	385,4

Punto Servicio (PS)

Q (m³/h)	3402
Pe (Pa)	516,4
Pd (Pa)	190,8
Pt (Pa)	707,1
Velocidad (rpm)	1704
Máx. Temp. (ºC)	250
Velocidad salida aire (m/s)	17,83
Rendimiento (%)	52
SFP (kW/m³/s)	1,511
Potencia mecánica (kW)	1,285

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Caudal máximo (m³/h)	5000
Velocidad (rpm)	1704
Presión estática máxima (Pa)	736,2
Presión total máxima (Pa)	736,3

Ficha técnica de selección completa: Ver ANEXO 3

Ventilador 2

SOLER & PALAU®: Modelo 5CEB-2600-CEB-2600-(127_1)-3127

Punto requerido

Caudal	2.103 sm^3/h
Presión Estática	94 Pa
Temperatura	20 °C
Altitud	0 m
Densidad	1,2 Kg / m^3
Frecuencia	60 Hz

Punto de trabajo

Caudal	2.415 m^3/h
Presión estática	124 Pa
Presión dinámica	634 Pa
Presión total	758 Pa
Potencia motor	3/4
Tensión	127/220
Intensidad máxima (A)	8.6/4.25
Velocidad ventilador	1750 rpm

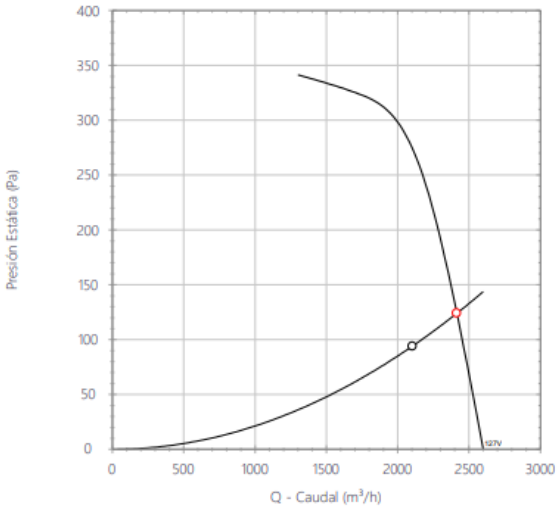
Construcción

Diámetro impulsión	162 mm
Tamaño ventilador	2600
Peso	25,00 kg

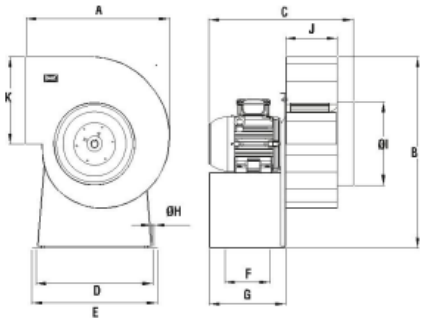
Características del motor

Índice de protección	IP55
Clase motor	B

Curva



Dimensiones



A	B	C	D	E	F	G	ØH	ØI
371	443	442	310	340	111	214	11.1	222

J	K
147	213

Características acústicas

	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Descarga (LwA)	71	71	61	54	54	49	44	39	74
Descarga LpA @ 1,5m	56	56	46	39	39	34	29	24	60

Ficha técnica de selección completa: Ver ANEXO 4

MAICO®: Modelo BOX-T 10/8 1.1KW 60Hz

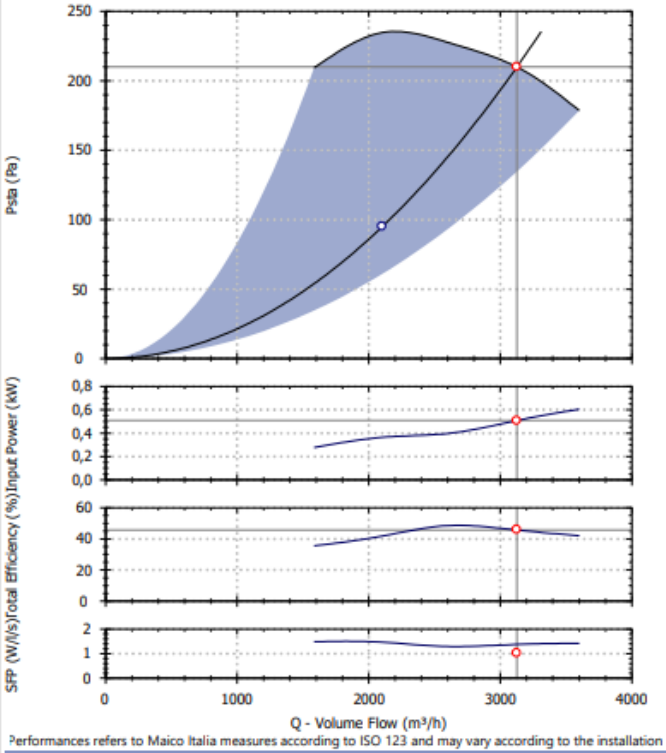
Selección - BOX-T 10/8 1.1KW 60Hz - 1135 RPM

TechnicalLanguage.ltProductCode	1BT3637
TechnicalLanguage.ltFanType	DIDW Forward Curved
Solicitud de flujo volumétrico	2.103 m³/h
Solucitud de presión	95 Pa
Caudal de flujo volumétrico	3.126 m³/h
Presión estática	210 Pa
Presión Total	267 Pa
Presión Dinámica	57 Pa
Flujo de velocidad	11,34 m/s
SFP	1,00 W/l/s
Eficiencia Total del Ventilador	45,7 %
Eficiencia Estática del Ventilador	35,9 %
TechnicalLanguage.ltFanSpeed	1135 rpm
TechnicalLanguage.ltAirProperties	0,89kg/m³/ 15°C/ 2600m/ 50% RH
TechnicalLanguage.ltFanOutputPower	0,508 kW
TemperatureRange	-20°C +50°C

Selección del motor

Electrical Supply	220/400/3/60
Motor Rating	1.10 kW
Enclosure/Class	55 / F
Frame Size	80-2
TechnicalLanguage.ltFanPoles	4
TechnicalLanguage.ltMotorSpeed	1135 rpm
Full Load Current	2.70 A

Fan Performance



Performances refers to Maico Italia measures according to ISO 123 and may vary according to the installation

Sound Performance

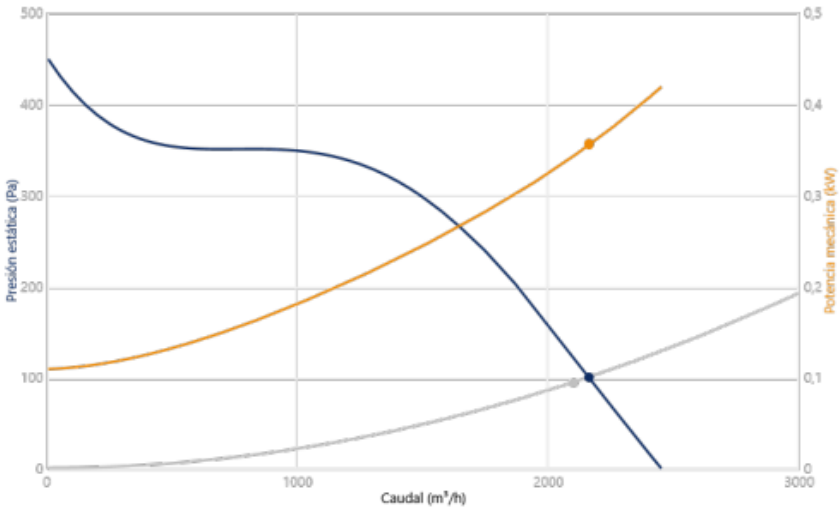
Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total	
Lw	58	67	72	72	67	64	61	59	77	dB
Lw(A)	32	51	63	69	67	65	62	58	73	dB(A)
LpA @ 3m	11	30	43	48	46	45	41	37	53	dB(A)

Sounds spectra refers to Maico Italia measures performed in our laboratories according to 123. The values provided are just indicative of the situation and Maico Italia declines every responsibility in case different levels measured by our customers as the installation types and the evironmental variables may increase/decrease these values.

Ficha técnica de selección completa: Ver ANEXO 5

SODECA®: Modelo CMP-922-4T 60H

CURVA CARACTERÍSTICA PARA 1,2KG/M³



Punto Diseño

Q (m³/h)	2103
Pe (Pa)	94,03

Punto Servicio (PS)

Q (m³/h)	2164
Pe (Pa)	99,59
Pd (Pa)	240,8
Pt (Pa)	340,4
Velocidad (rpm)	1674
Máx. Temp. (ºC)	250
Velocidad salida aire (m/s)	20,03
Rendimiento (%)	57,57
SFP (kW/m³/s)	0,8959
Potencia mecánica (kW)	0,3554

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Caudal máximo (m³/h)	2450
Velocidad (rpm)	1674
Presión estática máxima (Pa)	448,9
Presión total máxima (Pa)	448,9

Ficha técnica de selección completa: Ver ANEXO 6

Ventilador 3

SOLER & PALAU®: Modelo 5CEB-2000-CEB-2000-(127_1)-381

Punto requerido

Caudal	1.614 sm^3/h
Presión Estática	43,2 Pa
Temperatura	20 °C
Altitud	0 m
Densidad	1,2 Kg / m^3
Frecuencia	60 Hz

Punto de trabajo

Caudal	1.792 m^3/h
Presión estática	53 Pa
Presión dinámica	521 Pa
Presión total	574 Pa
Potencia motor	1/2
Tensión	127/220
Intensidad máxima (A)	7.25/3.66
Velocidad ventilador	1740 rpm

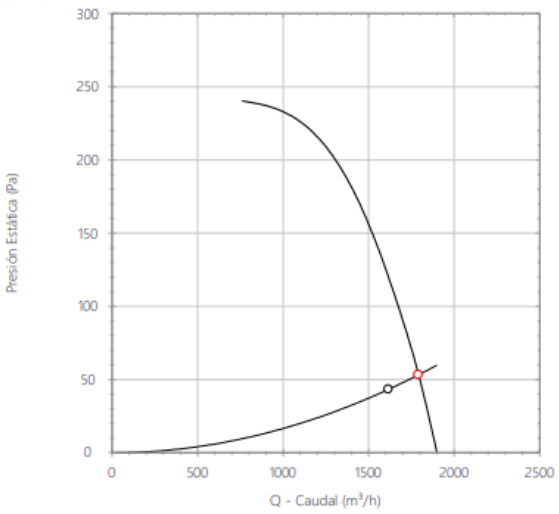
Construcción

Diámetro impulsión	147 mm
Tamaño ventilador	2000
Peso	11,00 kg

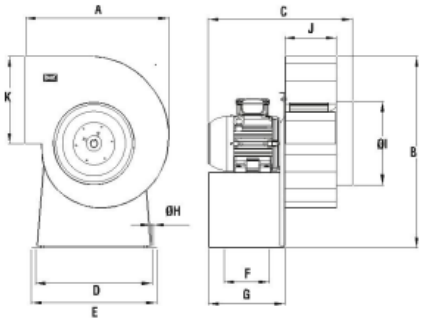
Características del motor

Índice de protección	IP21
Clase motor	B

Curva



Dimensiones



A	B	C	D	E	F	G	ØH	ØI
325	421	390	310	340	111	214	11.1	195

J	K
127	184

Características acústicas

	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Descarga (LwA)	68	68	58	51	51	46	41	36	71
Descarga LpA @ 1,5m	53	53	43	36	36	31	26	21	57

Ficha técnica de selección completa: Ver ANEXO 7

MAICO®: Modelo BOX-T 10/10 1.1KW 60Hz

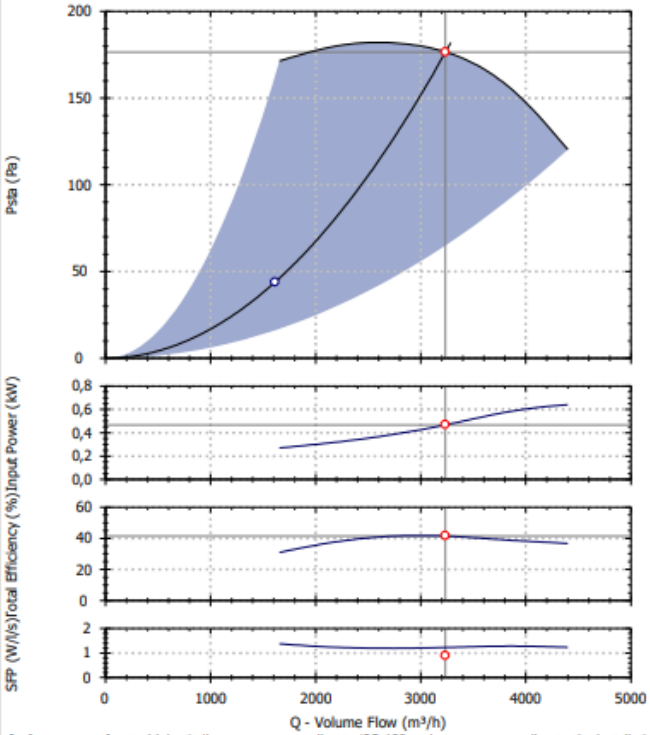
Selección - BOX-T 10/10 1.1KW 60Hz -

TechnicalLanguage.ltProductCode	1BT3986
TechnicalLanguage.ltFanType	DIDW Forward Curved
Solicitud de flujo volumétrico	1.615 m³/h
Solucitud de presión	44,0 Pa
Caudal de flujo volumétrico	3.235 m³/h
Presión estática	177 Pa
Presión Total	216 Pa
Presión Dinámica	39,3 Pa
Flujo de velocidad	9,39 m/s
SFP	0,89 W/l/s
Eficiencia Total del Ventilador	41,4 %
Eficiencia Estática del Ventilador	33,9 %
TechnicalLanguage.ltFanSpeed	1000 rpm
TechnicalLanguage.ltAirProperties	0,89kg/m³/ 15°C/ 2600m/ 50% RH
TechnicalLanguage.ltFanOutputPower	0,468 kW
TemperatureRange	-20°C +50°C

Selección del motor

Electrical Supply	220/400/3/60
Motor Rating	1.10 kW
Enclosure/Class	55 / F
Frame Size	80-2
TechnicalLanguage.ltFanPoles	4
TechnicalLanguage.ltMotorSpeed	1000 rpm
Full Load Current	2.70 A

Fan Performance



Performances refers to Maico Italia measures according to ISO 123 and may vary according to the installation

Sound Performance

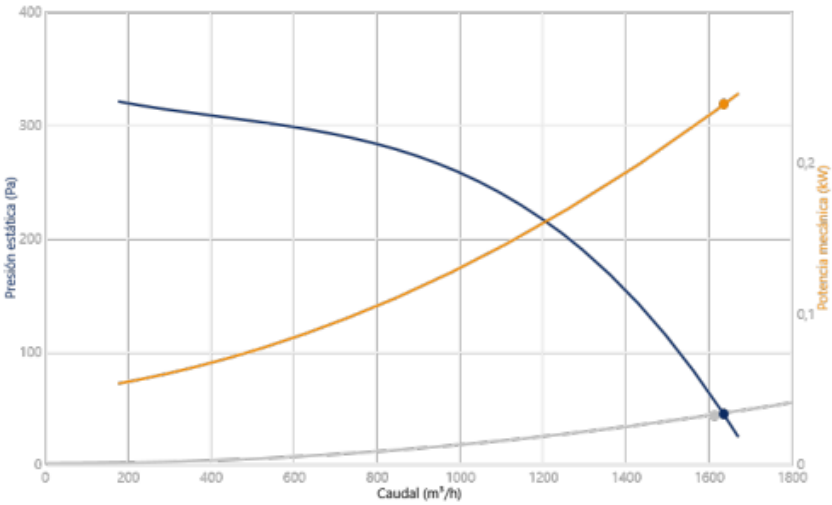
Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total	
Lw	56	65	71	71	69	66	61	56	76	dB
Lw(A)	30	49	62	68	69	67	62	55	74	dB(A)
LpA @ 3m	9	28	42	47	48	47	41	34	53	dB(A)

Sounds spectra refers to Maico Italia measures performed in our laboratories according to 123. The values provided are just indicative of the situation and Maico Italia declines every responsibility in case different levels measured by our customers as the installation types and the evironmental variables may increase/decrease these values.

Ficha técnica de selección completa: Ver ANEXO 8

SODECA®: Modelo CMP-820-4T 60HZ

CURVA CARACTERÍSTICA PARA 1,2KG/M³



Punto Diseño

Q (m³/h)	1614
Pe (Pa)	43,2

Punto Servicio (PS)

Q (m³/h)	1634
Pe (Pa)	44,29
Pd (Pa)	309,1
Pt (Pa)	353,4
Velocidad (rpm)	1620
Máx. Temp. (ºC)	250
Velocidad salida aire (m/s)	22,7
Rendimiento (%)	67,35
SFP (kW/m³/s)	0,8746
Potencia mecánica (kW)	0,2382

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Caudal máximo (m³/h)	1670
Velocidad (rpm)	1620
Presión estática máxima (Pa)	320,3
Presión total máxima (Pa)	383,2

Ficha técnica de selección completa: Ver ANEXO 9

Ventilador 4

SOLER & PALAU®: Modelo 5CEB-2000-CEB-2000-(127_1)-4150

Punto requerido

Caudal	2.017 sm^3/h
Presión Estática	60 Pa
Temperatura	20 °C
Altitud	0 m
Densidad	1,2 Kg / m^3
Frecuencia	60 Hz

Punto de trabajo

Caudal	1.804 m^3/h
Presión estática	48,0 Pa
Presión dinámica	528 Pa
Presión total	576 Pa
Potencia motor	1/2
Tensión	127/220
Intensidad máxima (A)	7.25/3.66
Velocidad ventilador	1740 rpm

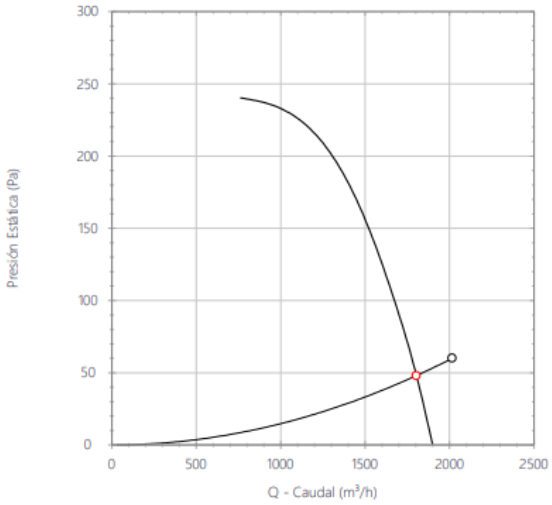
Construcción

Diámetro impulsión	147 mm
Tamaño ventilador	2000
Peso	11,00 kg

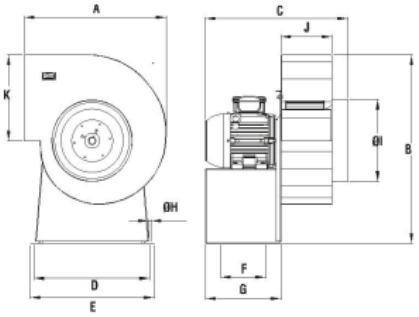
Características del motor

Índice de protección	IP21
Clase motor	B

Curva



Dimensiones



A	B	C	D	E	F	G	ØH	ØI
325	421	390	310	340	111	214	11.1	195

J	K
127	184

Características acústicas

	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Descarga (LwA)	68	68	58	51	51	46	41	36	71
Descarga LpA @ 1,5m	53	53	43	36	36	31	26	21	57

Ficha técnica de selección completa: Ver ANEXO 10

MAICO®: Modelo BOX-T 10/10 1.1KW 60Hz

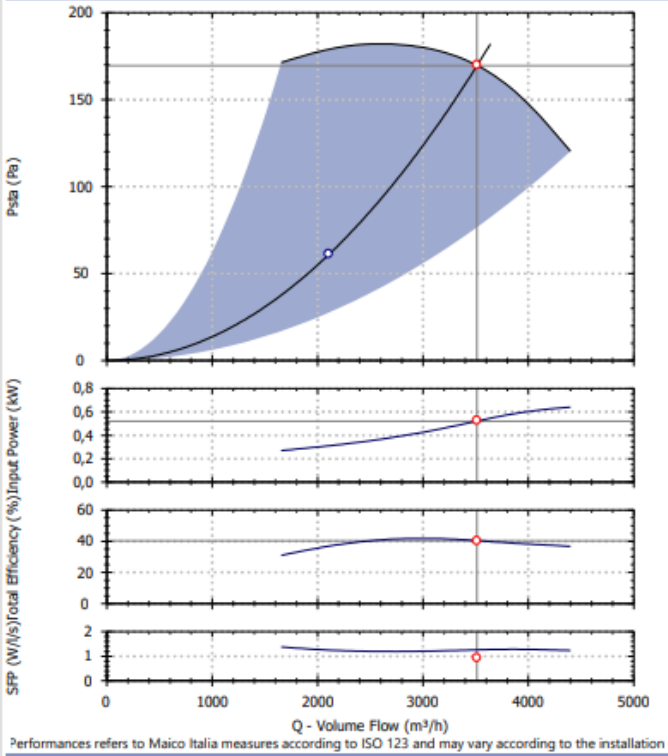
Selección - BOX-T 10/10 1.1KW 60Hz -

TechnicalLanguage.ltProductCode	18T3986
TechnicalLanguage.ltFanType	DIDW Forward Curved
Solicitud de flujo volumétrico	2.107 m³/h
Solucitud de presión	61 Pa
Caudal de flujo volumétrico	3.514 m³/h
Presión estática	170 Pa
Presión Total	216 Pa
Presión Dinámica	46,3 Pa
Flujo de velocidad	10,20 m/s
SFP	0,92 W/l/s
Eficiencia Total del Ventilador	40,4 %
Eficiencia Estática del Ventilador	31,7 %
TechnicalLanguage.ltFanSpeed	1000 rpm
TechnicalLanguage.ltAirProperties	0,89kg/m³/ 15°C/ 2600m/ 50% RH
TechnicalLanguage.ltFanOutputPower	0,522 kW
TemperatureRange	-20°C +50°C

Selección del motor

Electrical Supply	220/400/3/60
Motor Rating	1.10 kW
Enclosure/Class	55 / F
Frame Size	80-2
TechnicalLanguage.ltFanPoles	4
TechnicalLanguage.ltMotorSpeed	1000 rpm
Full Load Current	2.70 A

Fan Performance



Performances refers to Maico Italia measures according to ISO 123 and may vary according to the installation

Sound Performance

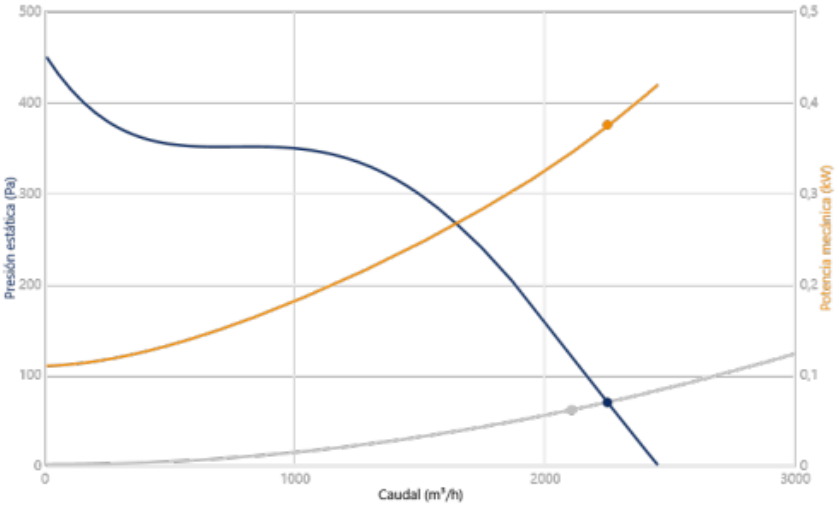
Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total	
Lw	56	65	71	71	69	66	61	56	76	dB
Lw(A)	30	49	62	68	69	67	62	55	74	dB(A)
LpA @ 3m	9	28	42	47	48	47	41	34	53	dB(A)

Sounds spectra refers to Maico Italia measures performed in our laboratories according to 123. The values provided are just indicative of the situation and Maico Italia declines every responsibility in case different levels measured by our customers as the installation types and the evironmental variables may increase/decrease these values.

Ficha técnica de selección completa: Ver ANEXO 11

SODECA®: Modelo CMP-922-4T 60HZ

CURVA CARACTERÍSTICA PARA 1,2KG/M³



Punto Diseño

Q (m³/h)	2107
Pe (Pa)	60,05

Punto Servicio (PS)

Q (m³/h)	2250
Pe (Pa)	68,5
Pd (Pa)	260,4
Pt (Pa)	328,9
Velocidad (rpm)	1674
Máx. Temp. (ºC)	250
Velocidad salida aire (m/s)	20,83
Rendimiento (%)	55,1
SFP (kW/m³/s)	0,9046
Potencia mecánica (kW)	0,3732

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Caudal máximo (m³/h)	2450
Velocidad (rpm)	1674
Presión estática máxima (Pa)	448,9
Presión total máxima (Pa)	448,9

Ficha técnica de selección completa: Ver ANEXO 12

Ventilador 5

SOLER & PALAU®: Modelo 5CEB-800-CEB-800-(127_1)-4924

Punto requerido

Caudal	766 sm³/h
Presión Estática	11,0 Pa
Temperatura	20 °C
Altitud	0 m
Densidad	1,2 Kg / m³
Frecuencia	60 Hz

Punto de trabajo

Caudal	789 m³/h
Presión estática	11,6 Pa
Presión dinámica	368 Pa
Presión total	380 Pa
Potencia motor	1/20
Tensión	127
Intensidad máxima (A)	1
Velocidad ventilador	1550 rpm

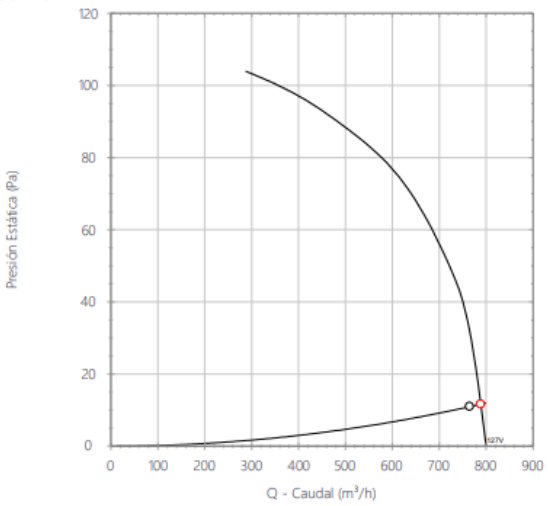
Construcción

Diámetro impulsión	106 mm
Tamaño ventilador	800
Peso	6,00 kg

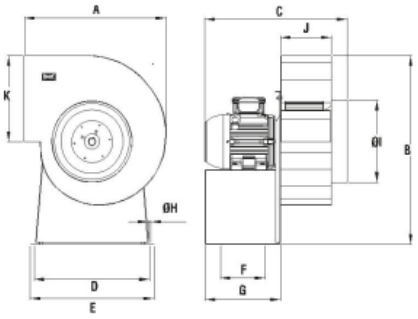
Características del motor

Índice de protección	IP21
Clase motor	B

Curva



Dimensiones



A	B	C	D	E	F	G	ØH	ØI
271	323	238	304	329	73	115	9.5	158

J	K
89	153

Características acústicas

	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Descarga (LwA)	60	60	50	43	43	38	33	28	64
Descarga LpA @ 1,5m	46	46	35	28	28	23	18	13	49

Ficha técnica de selección completa: Ver ANEXO 13

MAICO®: Modelo AXC-200B 60Hz

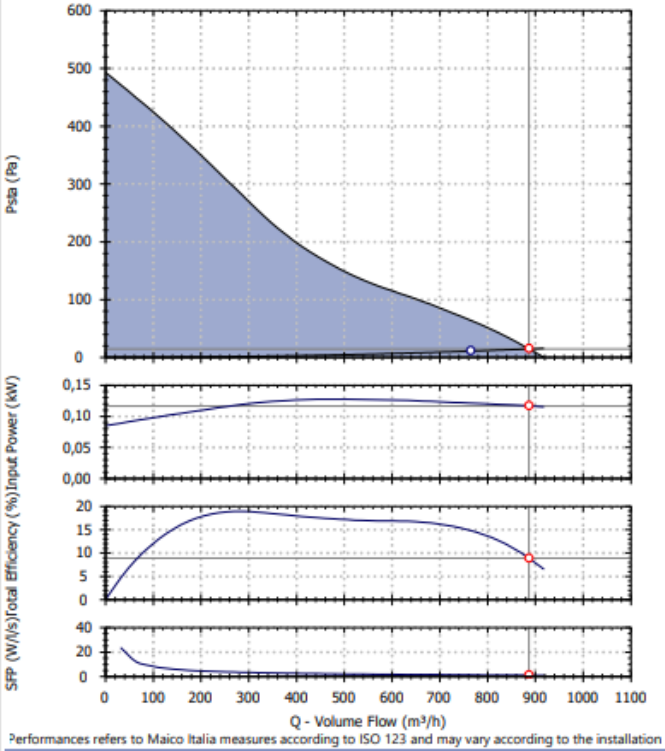
Selección - AXC-200B 60Hz

TechnicalLanguage.ltProductCode	2AX2146
Solicitud de flujo volumétrico	765 m³/h
Solucitud de presión	11,0 Pa
Caudal de flujo volumétrico	887 m³/h
Presión estática	14,8 Pa
Presión Total	42,1 Pa
Presión Dinámica	27,4 Pa
Flujo de velocidad	7,84 m/s
SFP	0,81 W/l/s
Eficiencia Total del Ventilador	8,9 %
Eficiencia Estática del Ventilador	3,1 %
TechnicalLanguage.ltFanSpeed	3215 rpm
TechnicalLanguage.ltAirProperties	0,89kg/m³/ 15°C/ 2600m/ 50% RH
TechnicalLanguage.ltFanOutputPower	0,117 kW
TemperatureRange	-10°C +60°C

Selección del motor

Electrical Supply	110/1/60
Motor Rating	0.175 kW
Enclosure/Class	X4 / F
TechnicalLanguage.ltFanPoles	2
TechnicalLanguage.ltMotorSpeed	3215 rpm
Full Load Current	1.59 A

Fan Performance



Performances refers to Maico Italia measures according to ISO 123 and may vary according to the installation

Sound Performance

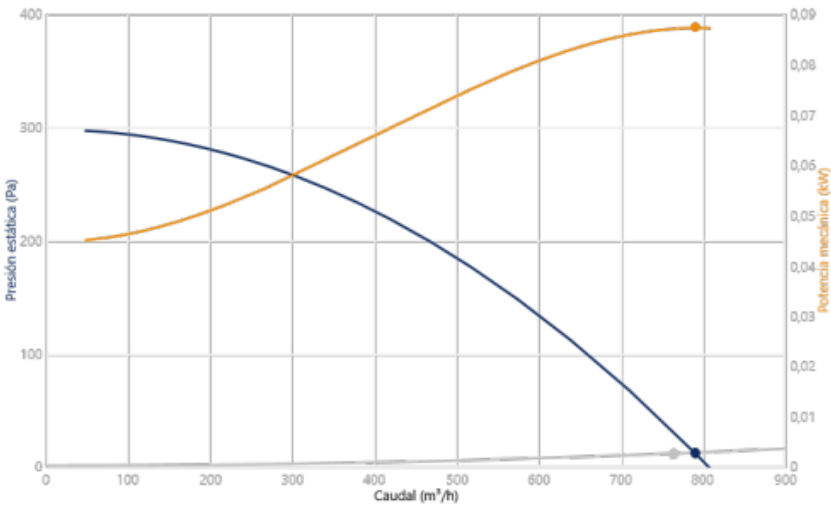
Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total	
Lw	32	44	49	56	55	52	43	34	60	dB
Lw(A)	6	28	40	53	55	53	44	33	59	dB(A)
LpA @ 3m	-	7	20	32	34	33	23	12	38	dB(A)

Sounds spectra refers to Maico Italia measures performed in our laboratories according to 123. The values provided are just indicative of the situation and Maico Italia declines every responsibility in case different levels measured by our customers as the installation types and the evironmental variables may increase/decrease these values.

Ficha técnica de selección completa: Ver ANEXO 14

SODECA®: Modelo CMP-620-4T 60HZ

CURVA CARACTERÍSTICA PARA 1,2KG/M³



Punto Diseño	
Q (m³/h)	764,5
Pe (Pa)	10,96

Punto Servicio (PS)	
Q (m³/h)	791
Pe (Pa)	11,73
Pd (Pa)	239,4
Pt (Pa)	251,1
Velocidad (rpm)	1650
Máx. Temp. (ºC)	250
Velocidad salida aire (m/s)	19,97
Rendimiento (%)	63,33
SFP (kW/m³/s)	0,7626
Potencia mecánica (kW)	0,0871

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Caudal máximo (m³/h)	810
Velocidad (rpm)	1650
Presión estática máxima (Pa)	296,6
Presión total máxima (Pa)	297,5

Ficha técnica de selección completa: Ver ANEXO 15

8.2. Matriz de decisión

Considerando las características de los equipos de ventilación y su comportamiento, basados en su curva característica para las condiciones requeridas actuales, se construye una matriz de decisión a fin de seleccionar los equipos a comprar.

Tabla 24. Calificación de matriz de decisión ventiladores

Calificación de matriz de decisión ventiladores	
Bueno	3
Regular	2
Malo	1

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan las matrices de decisión por sistemas/ventiladores del 1 al 5, basados en las calificaciones expuestas en la tabla 24.

Los criterios operacionales o constructivos usados para la comparación de las alternativas en la matriz de decisión fueron los siguientes: consumo eléctrico a 220V (A), rendimiento (%), peso (Kg), dimensión (mm) y ruido máx. (dB).

Tabla 25. Matriz de decisión ventilador 1

Matriz de decisión Ventilador 1						
Marca	Soler & Palau		MAICO		SODECA	
Criterio	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación
Consumo electrico a 220V (A)	4.3	3	4.7	3	8.2	1
Rendimiento (%)	80.0	3	37.7	1	52.0	2
Peso (Kg)	28.0	3	80.0	1	39.0	2
Dimension (mm)	454x550x530	3	900x650x285	1	472x552x511	3
Ruido Max (dB)	83.0	3	81.0	3	80.0	3
TOTAL		15		9		11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Matriz de decisión ventilador 2

Matriz de decisión Ventilador 2						
Marca	Soler & Palau		MAICO		SODECA	
Criterio	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación
Consumo electrico a 220V (A)	4.3	1	2.7	3	2.9	3
Rendimiento (%)	93.0	3	45.7	2	57.6	2
Peso (Kg)	25.0	2	78.0	1	19.0	3
Dimension (mm)	371x443x442	3	900x650x285	1	388x455x382	3
Ruido Max (dB)	74.0	3	73.0	3	73	3
TOTAL		12		10		14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Matriz de decisión ventilador 3

Matriz de decisión Ventilador 3						
Marca	Soler & Palau		MAICO		SODECA	
Criterio	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación
Consumo electrico a 220V (A)	3.7	1	2.7	2	1.7	3
Rendimiento (%)	94.0	3	41.4	1	67.4	2
Peso (Kg)	11.0	3	80.0	1	10.0	3
Dimension (mm)	325x421x390	3	900x650x285	1	322x377x345	3
Ruido Max (dB)	71.0	3	74.0	3	70	3
TOTAL		13		8		14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Matriz de decisión ventilador 4

Matriz de decisión Ventilador 4						
Marca	Soler & Palau		MAICO		SODECA	
Criterio	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación
Consumo electrico a 220V (A)	3.7	1	2.7	2	1.7	3
Rendimiento (%)	95.0	3	40.4	1	55.1	2
Peso (Kg)	11.0	3	80.0	1	19.0	3
Dimension (mm)	325x421x390	3	900x650x285	1	388x455x382	3
Ruido Max (dB)	71.0	3	74.0	3	70	3
TOTAL		13		8		14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Matriz de decisión ventilador 5

Matriz de decisión Ventilador 5						
Marca	Soler & Palau		MAICO		SODECA	
Criterio	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación
Consumo electrico a 220V (A)	1.0	3	1.6	2	1.0	3
Rendimiento (%)	98.0	3	8.9	1	63.3	2
Peso (Kg)	6.0	3	5.0	3	7.5	3
Dimension (mm)	271x323x238	3	333x230x333	3	298x347x307	3
Ruido Max (dB)	64.0	2	59.0	3	62	2
TOTAL		14		12		13

Fuente: Elaboración propia

En las tablas anteriores se asignó el valor más alto al mejor criterio, y, partiendo de allí, se asignaron los valores de los demás criterios.

8.3. Selección de equipos

En primer lugar, los equipos de la marca MAICO®, no se vieron favorecidos en los resultados obtenidos de las matrices correspondientes, por lo tanto, no se considerará esta marca para ninguna aplicación de los sistemas existentes.

Segundo, observando cada matriz de decisión se evidencia que la sumatoria en las calificaciones de los ventiladores 1 y 5 apuntan a seleccionar equipos de la marca Soler & Palau®. Por otra parte, las calificaciones de los ventiladores 2, 3 y 4 apuntan a seleccionar equipos de la marca SODECA®.

En el momento de presentar un presupuesto por adquisición de estos ventiladores a la decanatura de la facultad de artes de la universidad, se sugiere escoger los equipos requeridos basándose en las siguientes 2 opciones:

OPCION 1:

Tabla 30. Ventiladores seleccionados OPCION 1

Ventiladores seleccionados OPCION 1			
Sistema	Marca	Modelo	Ilustración
Ventilador 1	SOLER & PALAU®	5CET-4000-CET-4000-(208-230_3)-918	
Ventilador 2	SODECA®	CMP-922-4T 60H	
Ventilador 3	SODECA®	CMP-820-4T 60HZ	
Ventilador 4	SODECA®	CMP-922-4T 60HZ	
Ventilador 5	SODECA®	CMP-620-4T 60HZ	

Fuente: Elaboración propia

Esta opción sugiere la compra del equipo con mejor calificación de todos los seleccionados, que sería instalado para el sistema del auditorio (ventilador 1), siendo este de la marca SOLER & PALAU®. Los demás equipos sugeridos son de la marca SODECA® (ventiladores 2, 3, 4 y 5) que supliría las necesidades de las áreas requeridas y comercialmente se puede llegar a acuerdos comerciales favorables por la cantidad de equipos (4) comprados con esta marca.

OPCION 2:

Tabla 31. Ventiladores seleccionados OPCION 2

Ventiladores seleccionados OPCION 2			
Sistema	Marca	Modelo	Ilustración
Ventilador 1	SODECA®	CMP-1128-4T 60HZ	
Ventilador 2	SODECA®	CMP-922-4T 60H	
Ventilador 3	SODECA®	CMP-820-4T 60HZ	
Ventilador 4	SODECA®	CMP-922-4T 60HZ	
Ventilador 5	SODECA®	CMP-620-4T 60HZ	

Fuente: Elaboración propia

Esta opción sugiere la compra de los 5 equipos con la marca SODECA®, lo cual centralizaría la adquisición de estos a través de un solo proveedor, significando facilidad en la presentación del presupuesto a la decanatura de la faculta de artes de la universidad, y recibiendo los posibles beneficios comerciales por la cuantía de equipos.

8.4. Comparación de equipos

Por último, se realizó la comparación de las características de funcionamiento de los sistemas de ventilación con los equipos actuales y con los nuevos equipos (propuestos), así, poder vislumbrar las posibles mejorías en los sistemas. A continuación, se presenta la tabla comparando parámetros de RPM y potencia en los motores, mas, el caudal obtenido por sistema con cada unidad de ventilación.

Tabla 32. Comparación de equipos actuales y nuevos (propuestos)

Comparación de equipos											
Sistema	Vent 1			Vent 2		Vent 3		Vent 4		Vent 5	
Marca	SIEMENS	SOLER & PALAU	SODECA	SIEMENS	SODECA	SIEMENS	SODECA	SIEMENS	SODECA	SIEMENS	SODECA
MODELO	Mot 1LA3 090-4YB20	5CET-4000-CET-4000-(208-230_3)-918	CMP-1128-4T 60HZ	NO VISIBLE	CMP-922-4T 60H	Mot 1LA3 090-4YB20	CMP-820-4T 60HZ	Mot 1LA3 083-4YA60	CMP-922-4T 60H	NO VISIBLE	CMP-620-4T 60HZ
RPM	1680	1760	1740	1725	1656	1680	1620	1650	1656	NO VISIBLE	1584
Potencia (HP)	1,5/1,8	1,5	3,8	2,7/2,9	0,75	1,5/1,8	0,34	1,5	0,75	NO VISIBLE	0,16
Caudal (m3/h)	716,57	3157	3402	1098,95	2164	>100	1634	>100	2250	>100	791

Fuente: Elaboración propia

En todos los sistemas se evidencia un mayor caudal de funcionamiento de los sistemas, con motores de más baja potencia, esto nos permite deducir que, existirá una eficiencia energética muy por encima de los sistemas actuales.

Se contará con equipos realmente funcionales que cumplirán con la exigencia en calidad de aire en cada una de las áreas de esta facultad.

9. CONCLUSIONES

- Se logro determinar los equipos de ventilación requeridos en las instalaciones de la facultad de artes ASAB tomando como guía el estándar ASHRAE y el manual de ventilación de Soler & PALAU®, ejecutando los cálculos e interpretando los respectivos nomogramas.
- Se valido el funcionamiento actual de los sistemas, alertando la urgente necesidad del cambio de estas unidades de ventilación, así como también, la necesidad de un mantenimiento periódico a las máquinas, limpieza de ductos, difusores y rejillas.
- Los cálculos para la determinación de los equipos requeridos por sistema se realizaron asumiendo conductos con sección transversal constante, llegando a cada máquina, desde el exterior hasta el interior y viceversa, lo que traduce a que los cálculos se ejecutaron bajo la menor pérdida de carga posible, como se puede evidenciar en la tabla 17 "*Pérdida de carga de conductos rígidos"*, sin embargo, esto significa mayor pérdida de caudal por longitud de tramos, lo que conlleva a que las selecciones de los ventiladores se hicieran tomando en cuenta los puntos de trabajo con caudales mayores a los caudales de diseño.
- Las renovaciones de aire por espacio se darán por sobrepresión dentro de estas áreas, aprovechando la baja presión del pasillo central que conecta todos los espacios y que conduce el aire desde la entrada por el occidente hasta la salida por el oriente.
- Gracias a la libre adquisición de los softwares de selección de las marcas Soler & Palau®, MAICO® y Sodeca®, fue posible aterrizar el comportamiento de los equipos de acuerdo a los puntos de trabajos requeridos por los sistemas actuales.
  También fue posible realizar las respectivas comparaciones a fin de seleccionar los equipos con mejor comportamiento que se ajustan a las necesidades de la ASAB.

10. REFERENCIAS

[1] Norma tecnica E.M. 030 instalaciones de ventilacion, 17 (2008). http://www.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/normas/norma-em-030-instalaciones-de-ventilacion.pdf

[2] E. Martinez. (2019). “DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACION FORZADA PARA LA EXTRACCION DE BAÑOS DEL EDIFICIO “LA PAZ” EN EL DISTRITO DE MIRAFLORES LIMA. In *Universidad Nacional Tecnològica de Lima Sur* (Vol. 1).

[3] Freile, J. (2015). Diseño del Sistema de Climatización y Ventilación Mecánica de un Edificio Administrativo. In *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL*. https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/19134

[4] Innovation, C. F. of. (2015). Cálculo De Pérdida De Carga En Accesorios. *N/A*, 3.

[5] Marcial Valladares, Y. A. (2019). *Diseño de un Sistema de Ventilación Mecánica para Asegurar la Concentración Permisible de Monóxido de Carbono en el Estacionamiento Subterráneo del Edificio de la Escuela Nacional de Control de la Co*.

[6] Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción refrigeración y acondicionamiento de aire Inc. (2007). ANSI/ASHRAE 62.1 Ventilacion para una Calidad Aceptable de Aire Interior. *Estándar*, *2007*, 12.

[7] Soler&Palau ventilation group. (n.d.). *FUTURE*.

[8] Soler&Palau ventilation group. (2012). *Manual practico de ventilacion*. 1–26. https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut251/doc1tut251.pdf

[9] Echeverri Londoño, C. A. (2011). *Ventilación industrial*. Sello Editorial de la Universidad de Medellín.

[10] V.V. Baturin. "Fundamentos de Ventilación Industrial". Editorial Labor S.A. , 1ª Edición, 1976.