

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA CON
JETFAN PARA EXTRAER LA CONCENTRACIÓN DE GASES
CONTAMINANTES EN LOS ESTACIONAMIENTOS DEL
EDIFICIO MULTIFAMILIAR MARBELLO, MAGDALENA”**

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

CARRASCO HUAPAYA EDUARDO MIGUEL

A handwritten signature in black ink, appearing to read "E. Carrasco Huapaya", enclosed within a large, hand-drawn oval.

Callao, 2021
PERÚ

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized initials and a surname.

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

MIEMBROS DEL JURADO

Presidente del jurado de Tesis : Dr. Juan Manuel Palomino Correa.

Secretario : Mg. Carlos Zacarías Díaz Cabrera.

Vocal : Mg. Vladimiro Contreras Tito.

Suplente : Mg. Teodomiro Santos Flores.

Asesor : Mg. Martín Sihuay Fernández.

Libro : N° 001

Folio : N° 077

Acta de sustentación : N° 051

Fecha de aprobación de tesis 17.09.2021

Resolución de Consejo de Facultad N° 019-2021-C.U. del 20 de enero de 2021

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA CON
JETFAN PARA EXTRAER LA CONCENTRACIÓN DE GASES
CONTAMINANTES EN LOS ESTACIONAMIENTOS DEL
EDIFICIO MULTIFAMILIAR MARBELLO, MAGDALENA”**

DEDICATORIA

Dedico esta tesis especialmente a mis padres, que con su ejemplo de esfuerzo y sacrificio me inspiraron a seguir adelante hasta alcanzar la meta.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por permitir que me encamine en el estudio profesional. Sin Él no hubiese sido posible cada paso que di, considerando que el camino no fue nada fácil. En segundo lugar, a los profesores y a mi asesor que siempre me incentivaron para culminar la carrera.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	11
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1. Descripción de la realidad problemática	16
1.2. Formulación del problema	17
1.2.1. Problema general	17
1.2.2. Problemas específicos	17
1.3. Objetivos	18
1.3.1. Objetivo general	18
1.3.2. Objetivos específicos	18
1.4. Limitantes de la investigación	18
1.4.1. Teórico	18
II. MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes:	19
2.1.1. Internacional	19
2.1.2. Nacional	20
2.2. Bases teóricas	21
2.2.1. Ecuación de Bernoulli	21
2.2.2. Pérdidas de carga en ductos	22
2.2.3. Potencia de un ventilador	26
2.2.4. Metodología de selección de componentes	28
2.2.5. Ecuaciones diferenciales de Navier-Stokes	28
2.3. Conceptual	29

2.3.1.	Sistema de ventilación mecánica.	29
2.3.2.	Tipos de sistema de ventilación mecánica.	30
2.3.3.	Diseño de un sistema de ventilación con jetfan.....	36
2.3.4.	Componentes de un sistema de ventilación con jetfan.	36
2.3.5.	Configuración de un sistema de ventilación mecánica con jetfan	40
2.3.6.	Parámetros básicos de diseño.	41
2.3.7.	Distribución de aire.....	42
2.3.8.	Criterios de selección.	49
2.3.9.	Gases contaminantes.....	50
2.3.10.	Tipos de gases contaminantes.....	51
2.3.11.	Parámetros de concentración de gases contaminantes.....	51
2.3.12.	Validación por CFD (Dinámica de Fluidos Computacional).....	54
2.3.13.	Marco normativo de diseño.	55
2.4.	Definición de términos básicos	56
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	58
3.1.	Hipótesis	58
3.1.1.	Hipótesis general.....	58
3.1.2.	Hipótesis específica	58
3.2.	Definición conceptual de variables.....	58
3.2.1.	Diseño de un sistema de ventilación mecánica con jetfan.	58
3.2.2.	Concentración de gases contaminantes.	59
3.3.	Operacionalización de variables	59
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO	61
4.1.	Tipo y diseño de la investigación	61
4.1.1.	Tipo de investigación.....	61
4.1.2.	Diseño de investigación	61
4.2.	Método de la investigación	62
4.3.	Población y muestra	63
4.4.	Lugar de estudio y periodo desarrollado	63
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	63
4.6.	Análisis y procesamiento de datos.....	64

4.7.	Procedimiento de la investigación.....	64
4.7.1.	Cálculo de los parámetros básicos de diseño	64
4.7.2.	Diseño de la distribución de aire	74
4.7.3.	Selección de equipos de ventilación mecánica	99
4.7.4.	Validación de sistema de extracción de gases contaminantes ..	118
V.	RESULTADOS.....	129
5.1.	Resultados de objetivo específico 1. Parámetros básicos de diseño	129
5.2.	Resultado de objetivo específico 2. Diseño de la distribución de aire.....	129
5.3.	Resultado específico 3. Selección de equipos.....	132
5.4.	Resultado específico 4. Validación de la extracción de los gases contaminantes.....	134
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	138
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados..	138
6.2.	Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	139
	CONCLUSIONES	141
	RECOMENDACIONES	143
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144
	ANEXOS	147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de sistemas de distribución según la velocidad del fluido.....	42
Tabla 2. Clasificación de sistemas de distribución según la presión del sistema.....	43
Tabla 3. <i>Estándar de calidad de aire según EPA.</i>	53
Tabla 4. <i>Comparación de concentraciones permisibles.</i>	53
Tabla 5. <i>Variables de la investigación.</i>	59
Tabla 6. <i>Operacionalización de las variables.</i>	60
Tabla 7. <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos.</i>	63
Tabla 8. <i>Área del nivel de estacionamiento Sótano N°4.</i>	66
Tabla 9. <i>Área del nivel de estacionamiento Sótano N°3.</i>	66
Tabla 10. <i>Área del nivel de estacionamiento Sótano N°2.</i>	66
Tabla 11. <i>Área del nivel de estacionamiento Sótano N°1.</i>	66
Tabla 12. <i>Emisiones de CO previstas en garajes de estacionamiento.</i>	67
Tabla 13. <i>Tasas de ventilación respecto al tiempo.</i>	68
Tabla 14. <i>Velocidades máximas recomendadas para sistemas de baja velocidad.</i>	75
Tabla 15. <i>Cálculo de caída de presión en ductos de inyección de nivel sótano 2, 3 y 4.</i>	80
Tabla 16. <i>Cálculo de caída de presión en ductos de inyección de nivel sótano 1.</i>	81
Tabla 17. <i>Velocidades recomendadas en bocas de salida.</i>	82
Tabla 18. <i>Selección de rejilla de inyección 560 cfm.</i>	83
Tabla 19. <i>Selección de rejilla de inyección 650 cfm.</i>	83
Tabla 20. <i>Caída de presión en ductos y compuertas en nivel sótano 2, 3 y 4.</i>	90
Tabla 21. <i>Caída de presión de los accesorios en nivel sótano 2, 3 y 4.</i>	91
Tabla 22. <i>Caída de presión en ductos y compuertas en nivel sótano 1.</i>	91
Tabla 23. <i>Caída de presión de los accesorios en nivel sótano 1.</i>	91
Tabla 24. <i>Caída de presión en ducto montante de inyección.</i>	96
Tabla 25. <i>Caída de presión del sistema de inyección.</i>	96

Tabla 26. <i>Caída de presión de ducto montante de extracción.....</i>	98
Tabla 27. <i>Caída de presión del sistema de extracción.</i>	98
Tabla 28. <i>Construcción recomendada para conductos de chapa metálica rectangulares en sistemas de baja presión.</i>	99
Tabla 29. <i>Variables de selección de equipo jetfan.....</i>	102
Tabla 30. <i>Resultados de los valores asignados a las variables de selección de equipo jetfan.....</i>	103
Tabla 31. <i>Datos ordenados según prioridad de variable de selección de equipo extractor centrífugo.....</i>	111
Tabla 32. <i>Resultados de los valores asignados a las variables de selección de equipo extractor centrífugo.....</i>	112
Tabla 33. <i>Datos ordenados según prioridad de variable de selección de equipo inyector centrífugo.....</i>	114
Tabla 34. <i>Resultados de los valores asignados a las variables de selección de equipo inyector centrífugo.....</i>	114
Tabla 35. <i>Datos ordenados según prioridad de variable de selección de equipo extractor axial de nivel típico sótano 2, 3 y 4.....</i>	116
Tabla 36. <i>Resultados de los valores asignados a las variables de selección de equipo extractor axial nivel sótano 2, 3 y 4.</i>	117
Tabla 37. <i>Datos ordenados según prioridad de variable de selección de equipo extractor axial de nivel sótano1.</i>	118
Tabla 38. <i>Resultados de los valores asignados a las variables de selección de equipo extractor axial, nivel sótano 1.</i>	118
Tabla 39. <i>Resultados de parámetros básicos de diseño.</i>	129
Tabla 40. <i>Resultados de la distribución de aire (inyección), nivel sótano 2, 3 y 4.</i>	129
Tabla 41. <i>Resultados de la distribución de aire (inyección), nivel sótano 1... </i>	130
Tabla 42. <i>Resultados de la distribución de aire (extracción), nivel sótano 1.</i>	130
Tabla 43. <i>Resultados de ruta crítica del sistema.</i>	130
Tabla 44. <i>Resultados de la selección de equipos para el sistema de ventilación.</i>	132

Tabla 45. *Resultados de la simulación del sistema de ventilación con jetfan.*

..... 135

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Diagrama de Moody	24
<i>Figura 2.</i> Esquema de principio: Sistema de extracción simple.	30
<i>Figura 3.</i> Esquema de principio: Ventilación cruzada..	31
<i>Figura 4.</i> Esquema de principio: Ventilación semicruzada.....	31
<i>Figura 5.</i> Esquema de principio: Ventilación por capas..	32
<i>Figura 6.</i> Esquema de principio: Ventilación con presión positiva.....	33
<i>Figura 7.</i> Esquema de principio: Ventilación con presión negativa..	34
<i>Figura 8.</i> Esquema de principio: Ventilación por infiltración.....	35
<i>Figura 9.</i> Esquema de principio: Ventilación localizada.	35
<i>Figura 10.</i> Tipos de ventiladores.	36
<i>Figura 11.</i> Ventilador centrífugo.	38
<i>Figura 12.</i> Ventilador axial mural de aspas helicoidales	39
<i>Figura 13.</i> Jetfan centrífugo.	40
<i>Figura 14.</i> Jetfan tubular.	40
<i>Figura 15.</i> Esquema de ventilación cruzada con jetfan.....	41
<i>Figura 16.</i> Detalle de ensamblaje de ducto de F ⁰ G ⁰	43
<i>Figura 17.</i> Transformación de ducto	45
<i>Figura 18.</i> Codo de 90°.	46
<i>Figura 19.</i> Codo de sección rectangular.	46
<i>Figura 20.</i> Desviaciones en ductos metálicos.	47
<i>Figura 21.</i> Esquema de damper de gravedad.....	48
<i>Figura 22.</i> Rejilla de impulsión lama curva.....	48
<i>Figura 23.</i> Simulación de sistema de ventilación con CFD	54
<i>Figura 24.</i> Diagrama de flujo de procesamiento de datos.....	64
<i>Figura 25.</i> Plano de Planta Sótano 4	65
<i>Figura 26.</i> Cálculo de caudal por concentración de CO según ASHRAE, para nivel sótano N°4.	70
<i>Figura 27.</i> Cálculo de caudal por concentración de CO según ASHRAE, para nivel sótano N°3.	70
<i>Figura 28.</i> Cálculo de caudal por concentración de CO según ASHRAE, para nivel sótano N°2.....	71

<i>Figura 29.</i> Cálculo de caudal por concentración de CO según ASHRAE, para nivel sótano N°1	71
<i>Figura 30.</i> Cálculo de caudal por tasa de área y volumen según RNE-EM.030, para nivel sótano N°4.....	72
<i>Figura 31.</i> Cálculo de caudal por tasa de área y volumen según RNE-EM.030, para nivel sótano N°3.....	72
<i>Figura 32.</i> Cálculo de caudal por tasa de área y volumen según RNE-EM.030, para nivel sótano N°2.....	73
<i>Figura 33.</i> Cálculo de caudal por tasa de área y volumen según RNE-EM.030, para nivel sótano N°173	
<i>Figura 34.</i> Distribución de rejillas en zona de inyección en nivel sótano N° 2, 3 y 4	74
<i>Figura 35.</i> Ábaco de pérdida de presión en los ductos de aire	76
<i>Figura 36.</i> Pérdida de presión en los conductos de aire para el tramo A-B nivel sótano N° 2, 3 y 4	77
<i>Figura 37.</i> Cálculo de pérdida de presión con Ductsizer para tramo A-B con unidades de medida del S.I.....	78
<i>Figura 38.</i> Cálculo de pérdida de presión con Ductsizer para tramo A-B con unidades de medida inglesa.....	79
<i>Figura 39.</i> Recorrido de inyección nivel sótano 1.....	80
<i>Figura 40.</i> Distribución de aire de inyección en nivel típico Sótano 2, 3 y 4.....	84
<i>Figura 41.</i> Detalle de accesorio de transformación de sección	85
<i>Figura 42.</i> Gráfica de coeficiente “n” de caída de presión para cambios de sección	86
<i>Figura 43.</i> Gráfica de presión dinámica de aire en función de la velocidad, a condiciones normales.....	87
<i>Figura 44.</i> Detalle de caja plenum.....	88
<i>Figura 45.</i> Coeficientes “n” de pérdidas de carga en codos rectos con directrices.....	89
<i>Figura 46.</i> Gráfica de caída de presión total en damper motorizado de aluminio.....	90
<i>Figura 47.</i> Ducto de succión de montante de extracción en nivel sótano 1	92

<i>Figura 48.</i> Detalle de codo recto	93
<i>Figura 49.</i> Coeficientes “n” de pérdidas de carga en codos rectangulares	94
<i>Figura 50.</i> Esquema de principio, ruta crítica de inyección	95
<i>Figura 51.</i> Esquema de principio, ruta crítica de extracción.....	97
<i>Figura 52.</i> Planta típica de disposición de equipos jetfan	101
<i>Figura 53.</i> Modelos de equipo jetfan disponibles con un caudal mínimo de operación de 1 400 cfm.....	102
<i>Figura 54.</i> Datos mecánicos de ficha técnica de equipo jetfan HCT/IMP-LS- UNI-35-4T	104
<i>Figura 55.</i> Datos eléctricos de ficha técnica de equipo jetfan HCT/IMP-LS- UNI-35-4T	104
<i>Figura 56.</i> Cálculo de número de jetfan para nivel típico sótano 2, 3 y 4.....	107
<i>Figura 57.</i> Cálculo de número de jetfan para nivel sótano 1	108
<i>Figura 58.</i> Equipos centrífugos de extracción disponibles en punto de operación, marca S&P	111
<i>Figura 59.</i> Equipos centrífugos de inyección disponibles en punto de operación, marca S&P	113
<i>Figura 60.</i> Equipos axiales de extracción disponibles en punto de operación en sótano 2, 3 y 4, marca SODECA.....	115
<i>Figura 61.</i> Equipos axiales de extracción disponibles en punto de operación en sótano 1, marca SODECA	116
<i>Figura 62.</i> Espacio limitante del volumen a ventilar en los estacionamientos del nivel crítico sótano 4.....	119
<i>Figura 63.</i> Dimensionamiento de bocas de inyección, extracción e inducción en los estacionamientos del nivel crítico sótano 4	120
<i>Figura 64.</i> Concentración de CO a 1,6 m del suelo, medido a 15 s del inicio de la simulación.....	121
<i>Figura 65.</i> Concentración de CO a 1,6 m del suelo, medido a 1,0 min del inicio de la simulación	122
<i>Figura 66.</i> Concentración de CO a 1,6 m del suelo, medido a 7,0 min del inicio de la simulación	123

<i>Figura 67.</i> Concentración de CO a 1,6 m del suelo, medido a 10,0 min del inicio de la simulación	124
<i>Figura 68.</i> Concentración de CO a 1,6 m del suelo, medido a 15,0 min del inicio de la simulación	125
<i>Figura 69.</i> Perfil de velocidades dentro del estacionamiento a 1,6m de altura	126
<i>Figura 70.</i> Perfil de velocidad máxima dentro del estacionamiento a 1,6m de altura	127
<i>Figura 71.</i> Rejilla de inyección de aire para caudal de 560 y 650 cfm marca koolair.....	131
<i>Figura 72.</i> Damper motorizado para sistema de inyección de aire	131
<i>Figura 73.</i> Damper manual antirretorno para sistema de extracción.....	132
<i>Figura 74.</i> Ventilador centrífugo CDAH-30/28 seleccionado para extracción e inyección	133
<i>Figura 75.</i> Equipo Jetfan HCT/IMP-LS-UNI-35-4T seleccionado para inducción de aire	133
<i>Figura 76.</i> Ventilador axial HC-56-6M/H seleccionado para extracción	134
<i>Figura 77.</i> Mapa de resultados de simulación CFD del sistema de extracción de gases contaminantes, a 15 min de funcionamiento en el nivel crítico sótano 4.....	136
<i>Figura 78.</i> Mapa de resultados del perfil de velocidades en el nivel crítico sótano 4	137

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de consistencia	147
ANEXO 2. Ficha técnica de equipo jetfan HCT/IMP-LS-UNI-35	148
ANEXO 3. Ficha técnica de equipo extractor centrífugo CDAH-30/28.....	150
ANEXO 4. Ficha técnica de equipo inyector centrífugo CDAH-30/28	151
ANEXO 5. Ficha técnica de equipo axial HC-56-6M/H 2 600CFM.....	152
ANEXO 6. Ficha técnica de equipo axial HC-56-6M/H 2 800CFM.....	154
ANEXO 7. Ficha técnica de rejilla de inyección 560 cfm	156
ANEXO 8. Ficha técnica de rejilla de inyección 650 cfm	157
ANEXO 9. Ficha técnica de dámper de gravedad Soler&Palau.....	158
ANEXO 10. Ficha técnica de dámper motorizado Salvador Escoda.....	159
ANEXO 11. Ábaco de pérdida de presión en ductos de aire	160
ANEXO 12. Norma ASHRAE (Handbook Chapter 15).....	161
ANEXO 13. Reglamento Nacional de Edificaciones	162
ANEXO 14. Plano: Planta Sótano 4 - Sistema de Ventilación Mecánica	163
ANEXO 15. Plano: Planta Sótano 3 - Sistema de Ventilación Mecánica	164
ANEXO 16. Plano: Planta Sótano 2 - Sistema de Ventilación Mecánica	165
ANEXO 17. Plano: Planta Sótano 1 - Sistema de Ventilación Mecánica	166
ANEXO 18. Plano: Planta Piso 1 y Azotea - Sistema de Ventilación Mecánica.....	167
ANEXO 19. Plano: Detalles y Cuadro de Equipos	168

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo diseñar un sistema de ventilación mecánica que sea capaz de extraer la concentración de gases contaminantes en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello, utilizando el sistema de ventilación mecánica con jetfan, así mismo, se utilizó la simulación CFD para validar el diseño. La investigación es del tipo descriptiva - práctica, no experimental y utilizó el método sintético e hipotético-deductivo, en vista que se analizaron los datos obtenidos de la arquitectura y se utilizaron conjuntamente para determinar los parámetros del diseño, como el caudal y la caída de presión. Así mismo se supuso una cantidad de ventiladores y posibles ubicaciones de los mismos, para luego deducir si se validan con la simulación CFD. EL resultado final, fue un sistema de extracción con equipos jetfan HCT/IMP-LS-REV-35-4T-0.12, un equipo de apoyo CDAH-30/28 para la extracción y un equipo de inyección de aire CDAH-30/28 con conductos de plancha galvanizada de 0.6 mm de espesor para los ductos secundarios y de 0.8 mm para los principales. Adicionalmente, los parámetros del sistema, caudal 11 000 cfm y caída de presión de 2,3 in c.a. para el sistema de extracción y 1,0 in c.a. para inyección, fueron validados con la simulación CFD. Se concluyó que el sistema de extracción con equipos jetfan, puede extraer los contaminantes hasta concentraciones permisibles, siempre y cuando se realice la validación del diseño planteado con la simulación CFD.

PALABRAS LLAVE: Sistema de ventilación con jetfan, Extracción de CO con jetfan, Diseño de ventilación mecánica con jetfan utilizando CFD.

ABSTRACT

The objective of the research was to design a mechanical ventilation system that is capable of extracting the concentration of polluting gases in the parking lots of the Marbello multifamily building, using the mechanical ventilation system with jetfan, likewise, the CFD simulation was used to validate the design. The research is descriptive - practical, non-experimental and used the synthetic and hypothetical-deductive method, since the data obtained from the architecture were analyzed and subsequently used to determine the design parameters, such as the flow rate and the fall of Pressure. Likewise, a number of fans and their locations were assumed, to later deduce if they are validated with the CFD simulation. The final result was an extraction system with jetfan HCT / IMP-LS-REV-35-4T-0.12 equipment, a CDAH-30/28 support equipment for extraction and a CDAH-30/28 air injection equipment. with 0.6 mm thick galvanized sheet conductors for the secondary ducts and 0.8 mm for the main ducts. In addition, the system parameters, flow rate 11,000 cfm and pressure drop of 2.3 in. wg for the exhaust system and 1.0 in.wg for injection, they were validated with the CFD simulation. It was concluded that the extraction system with jetfan equipment can extract the pollutants to permissible concentrations, as long as the validation of the proposed design is carried out with the CFD simulation.

KEY WORDS: Ventilation system with jetfan, Extraction of CO with jetfan, Design of mechanical ventilation with jetfan using CFD.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años en que los vehículos automotores han estado en funcionamiento en la sociedad, esta se ha enfrentado a problemas medioambientales y de salud, producto de la emanación de gases contaminantes de los motores de combustión interna. Según la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) y el CDC (Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades), los daños generados en los individuos que son expuestos a estos contaminantes, van desde leves hasta graves, pudiendo aún causar la muerte. En edificios multifamiliares que cuentan con estacionamientos subterráneos, la concentración de estos gases contaminantes, vician el aire del recinto, haciéndose de suma necesidad que cuenten con un sistema de ventilación que extraiga estos gases contaminantes y renueve el aire interior por una cantidad determinada de aire limpio.

La razón por la cual se eligió la presente investigación, está sujeto al interés del autor por especializarse en el rubro de ventilación mecánica, puesto que anteriormente ha laborado en diseño de instalaciones de ventilación y actualmente labora implementando estos sistemas en el rubro de construcción domiciliaria. Así mismo, aportar un valor de precedente en este campo, puesto que no se cuenta con mucha información dentro del medio porque estos sistemas aún están empezando a implementarse en edificios multifamiliares recientemente, porque hasta hace unos años, solamente se implementaban en edificios de oficinas, comerciales o túneles viales, y esta investigación trata de extender los alcances de estos sistemas con equipos jetfan y promover el uso de estos en futuros proyectos de extracción de gases contaminantes en estacionamientos.

Dada la problemática, el objetivo de la presente investigación es dar una solución práctica para evacuar los gases contaminantes que se concentran dentro de los estacionamientos de la edificación, mediante el diseño de un sistema de extracción utilizando jetfan, para renovar el aire dentro del recinto y de esta manera cumplir con los niveles permitidos de concentración de gases contaminantes que exige la normativa nacional e internacional.

La investigación es del tipo descriptiva, puesto que no se llega a implementar en la realidad, sino que se utilizó una metodología sintética e hipotética deductiva para llegar a la solución y plasmarlo en una propuesta de diseño.

La organización de la presente investigación es la siguiente:

En el capítulo I, se describe la problemática que aborda la investigación, en dónde se sustenta la relevancia de la misma y se plantea los objetivos generales y específicos para resolver el problema de investigación. Así mismo, también se delimita los alcances de la investigación.

En el capítulo II, se detallan los antecedentes de estudios previos que abordaron el tema principal de la presente investigación y el marco teórico - conceptual en el que se sustenta los principios utilizados para resolver el problema de la investigación tecnológica.

En el capítulo III, se plantea la hipótesis general y las hipótesis específicas de la investigación, así mismo se identifican las variables con sus respectivas dimensiones e indicadores.

En el capítulo IV, se explica el diseño metodológico de la investigación, el proceso y los parámetros que se han seguido en la investigación.

En el capítulo V, se exponen los resultados de la investigación que corresponden al procedimiento que se siguió para el diseño.

En el capítulo VI, se discuten los resultados arrojados y se contrastan con las hipótesis para falsearlas o verificarlas, así mismo se comparan con los resultados de las investigaciones que se escogieron como antecedentes de estudio.

Por último, se detallan las conclusiones, las referencias bibliográficas y los anexos.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Los gases de escape que emana un automóvil cuando circula dentro de un estacionamiento subterráneo dentro de una edificación comercial o multifamiliar, queda confinado alterando la limpieza del aire dentro del recinto y originando un ambiente insano para los ocupantes. Según la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) y el CDC (Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades), los efectos dañinos en el individuo, al exponerse a emisiones bajas de gases contaminantes puede causar fatiga y dolor de pecho; con concentraciones moderadas puede causar angina, visión deficiente y disminución de la función cerebral; y en concentraciones mayores puede causar deficiente coordinación de funciones, jaquecas, mareos, confusión, náuseas y síntomas de una gripe. En un estado agudo causa que dichas partículas se adhieran a las células de la sangre y provoque la formación de carboxihemoglobina que inhibe la entrada de oxígeno en la sangre y provoca la muerte, puesto que son moléculas que reemplazan al oxígeno y no permiten que sea transportado a los órganos. También se adhieren a los tejidos y células de los órganos y los envenenan, ocasionando que se reduzcan sus funciones normales. Así mismo, anuncia que las emisiones de CO al medio ambiente, son producidas el 95% por vehículos automotores. Según Téllez (2012), estos efectos en la salud son causados en exposiciones del individuo bajo 25 ppm en el aire, y ocasionando una concentración de las carboxihemoglobinas menos a un 10% en la sangre.

Si no se pone límites a la concentración de estos agentes nocivos concentrados en el aire de los recintos de parqueo, puede causar daños severos en los habitantes y usuarios de estos estacionamientos al ser expuestos constantemente a estas emanaciones de agentes tóxicos, es por ello que el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) en la norma EM.030, fundamentado en la norma ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers) Handbook, chapter 15, exige que se diseñe un sistema de ventilación mecánica obligatoria cuando hay más de 100 m² de área

en un nivel de estacionamientos para edificaciones de viviendas multifamiliares, que asegure que las concentraciones dentro del recinto no excedan el máximo permitido que es 50ppm. Si no se diseña un sistema de extracción de estos gases nocivos, que funcione correctamente, la municipalidad no otorgará la aprobación del proyecto, y no se podrá construir en un futuro; debido a que no se otorgará la licencia municipal para ser habitable con los permisos legales de funcionamiento.

En el edificio multifamiliar Marbello, ubicado en el distrito de Magdalena del Mar en la ciudad de Lima, se tienen 4 niveles de estacionamientos de vehículos y según la normativa nacional para edificaciones, se debe considerar un sistema de extracción de monóxido para todos los niveles de estacionamientos de la edificación.

Por este motivo, se necesita diseñar un sistema de extracción de monóxido para extraer la concentración de los gases contaminantes en los estacionamientos y mantener los niveles de concentración permitidos (50 partes por millón como máximo), y de esta manera, mantener un ambiente con aire renovado y limpio para evitar daños en la salud de los ocupantes del edificio.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo diseñar un sistema de ventilación mecánica con jetfan para extraer la concentración de gases contaminantes en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo determinar los parámetros básicos de diseño del sistema de ventilación mecánica con jetfan para la extracción de los gases contaminantes en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello?
- ¿Cómo diseñar la distribución de aire del sistema de ventilación mecánica en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello?
- ¿Cómo seleccionar los equipos del sistema de ventilación mecánica en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello?

- ¿Cómo validar la extracción de los gases contaminantes a niveles de concentración permisibles en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de ventilación mecánica con jetfan para extraer la concentración de gases contaminantes en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros básicos de diseño del sistema de ventilación mecánica con jetfan para la extracción de los gases contaminantes en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello.
- Diseñar la distribución de aire del sistema de ventilación mecánica en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello
- Seleccionar los equipos del sistema de ventilación mecánica en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello.
- Validar la extracción de los gases contaminantes a niveles de concentración permisibles en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello.

1.4. Limitantes de la investigación

1.4.1. Teórico

La presente investigación se limita teóricamente debido a que se basa en los estudios de mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas para diseñar el sistema de ventilación, pero para los cálculos de los jetfan, se ha tomado como base el manual de cálculo de un fabricante en particular, no habiendo mucha información con respecto a ello, así mismo dentro de los alcances no se contempla el análisis por CFD como realización propia, sino que se solicitó un servicio a una empresa especializada, puesto que no se cuenta con los conocimientos del software a utilizar, ni el soporte tecnológico para la realización de la simulación.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes:

2.1.1. Internacional

Marín (2013), en su tesis titulada “Diseño de un sistema de ventilación mediante el uso de CFD”, cuyo objetivo principal fue diseñar un sistema de ventilación mecánica para la extracción de gases, de los parqueaderos subterráneos del Edificio ELIT CENTRO DE NEGOCIOS, mediante la utilización de ventiladores tipo jetfan, comprobando el funcionamiento de la red con análisis CFD, con el fin de optimizar recursos y espacio. En este estudio se utilizó un simulador computarizado para diseñar el sistema de ventilación, donde los datos utilizados para ingresarlos al software fueron recogidos de la arquitectura del edificio ELIT CENTRO DE NEGOCIOS. Así mismo concluyó que se realizó el diseño de un sistema de ventilación mecánica, para los parqueaderos subterráneos del Edificio “Elit Centro de Negocios”, a construirse en la ciudad de Quito, mediante el uso de un sistema que se basa en jet fans y que requiere de una simulación CFD para garantizar su correcto funcionamiento.

Este trabajo se relaciona con la investigación planteada ya que utiliza el simulador computarizado CFD para sustentar los cálculos de diseño, en el caso de la presente investigación, se realiza el proceso en sentido inverso, primero se diseña con hojas de cálculo y luego se realiza la validación del diseño con el simulador CFD.

Acosta (2017), en su tesis titulada “Concentraciones de monóxido de carbono y su incidencia en la salud del personal que labora en el parqueadero del edificio principal del GAD Municipal de Ambato”, cuyo objetivo principal fue determinar las concentraciones de monóxido de carbono y su incidencia en la salud del personal que labora en el parqueadero del edificio principal GAD Municipal de Ambato. Así mismo concluyó que el problema de la concentración es producido básicamente por una mala y deficiente extracción mecánica, ya que, por el único lugar que se puede ingresar aire del exterior, se está sacando, produciendo un efecto de remolino y volviendo a ingresar el mismo aire.

Este trabajo se relaciona con la investigación planteada ya que concluye que una mala distribución de aire, ocasiona recirculación, una ventilación deficiente y aportan a la problemática de la presente investigación. Así mismo, presenta estudio realizado en los ocupantes que laboran en el servicio de estacionamientos del edificio que es objeto de estudio y determinó que la exposición no causa daños muy graves, debido a que las concentraciones están al nivel permitido, pero puede mejorarse.

2.1.2. Nacional

Marcial (2019), en su tesis titulada “Diseño de un sistema de ventilación mecánica para asegurar la concentración permisible de monóxido de carbono en el estacionamiento subterráneo del edificio Escuela Nacional de Control de la Contraloría General de la República”, cuyo objetivo principal fue diseñar un sistema de ventilación mecánica 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 República, para controlar y asegurar la calidad de aire limpio. Este estudio fue del tipo descriptivo, puesto que especifica las propiedades del proceso de diseño del sistema de ventilación mecánica para extraer el monóxido de carbono. Así mismo concluyó que el diseño del sistema de ventilación que se hizo en el informe es el más adecuado y 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 25 ppm.

Este trabajo se relaciona con la investigación, ya que utiliza las mismas bases de cálculo para la ventilación de los estacionamientos que la presente investigación, y dando solidez a los criterios de cálculo, selección de los equipos y accesorios del sistema de ventilación.

Salazar (2017), en su tesis titulada “Diseño de un sistema de ventilación con detección de monóxido de carbono (CO) para sótanos de estacionamiento de un edificio multifamiliar”, cuyo objetivo principal fue diseñar un sistema de ventilación con detección automatizado de monóxido de carbono (CO) para sótanos en estacionamiento de vivienda multifamiliar que asegure la calidad del aire de ellos. Este estudio fue del tipo descriptivo, puesto que especifica las

propiedades del proceso de diseño del sistema de ventilación mecánica para extraer el monóxido de carbono. Así mismo concluyó que el sistema de ventilación diseñado garantiza la extracción del aire contaminado del estacionamiento en cada piso cuando la concentración del nivel de monóxido de carbono supere las 25 ppm, asegurando la calidad del aire dentro del recinto.

Este trabajo se relaciona con la investigación en que su objeto de estudio es similar al de la presente investigación, se diseñó un sistema de extracción de monóxido para un edificio multifamiliar con 3 niveles de sótanos con el sistema convencional, y es de interés de la investigación, comparar los resultados con el sistema propuesto con jetfan.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Ecuación de Bernoulli

Para definir la ecuación de Bernoulli, utilizamos la ecuación de la energía y la dividimos entre el peso específico como lo dice Mott (2006), la ecuación de Bernoulli es el resultado de la división de una expresión de la ecuación de la energía entre el peso específico del fluido. Cada uno de los términos de la ecuación de Bernoulli es una forma de expresión de la energía que contiene el fluido por unidad de peso.

Evaluando lo que dice Mott, la expresión queda de la siguiente manera:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (1)$$

dónde:

p_1, p_2 : presión en el punto 1 y 2.

γ : peso específico del aire

v_1, v_2 : velocidad en el punto 1 y 2.

g : aceleración de la gravedad.

z_1, z_2 : altura del flujo en punto 1 y 2.

Esta fórmula teórica se utiliza cuando no se presentan pérdidas a lo largo del trayecto del sistema, pero en la realidad se presentan diversos tipos de pérdidas de energía que transforman la expresión, quedando de la siguiente manera:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2)$$

dónde:

h_A : carga de presión total del ventilador

h_R : carga de presión total por las pérdidas de los accesorios.

h_L : carga de presión total por la fricción en los ductos.

La ecuación (2) se utiliza para calcular la carga o presión total de un sistema, o de un tramo de conducto, al reemplazar los valores de presión, velocidad y altura. De esta manera se podrá construir una hoja de cálculo o utilizar calculadoras virtuales que se basan en este marco teórico.

2.2.2. Pérdidas de carga en ductos

Las pérdidas de carga en ductos son las fuerzas de oposición al movimiento del fluido, producto de la acción del rozamiento que ejerce las paredes del conducto, a su vez por los accesorios que se encuentran dentro del sistema de distribución. Para Mott (2006, p. 202), “Las pérdidas y ganancias de energía en un sistema se contabilizan en términos de energía por unidad de peso del fluido que circula por él. Esto también se conoce como carga”. Así mismo, Potter, Wiggert y Ramadam añaden que “las pérdidas pueden dividirse en dos categorías: a) las debidas al cortante en las paredes en elementos de tubos y b) las que se deben a los componentes en las tuberías” (2015, p. 544).

2.2.2.1. Pérdidas primarias

Para Matáix (1986, p. 203), las pérdidas primarias son “las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluido con otras (régimen laminar) o de las partículas de fluido entre sí (régimen turbulento)”. Entonces, las pérdidas primarias vendrían a ser las pérdidas de presión producto del rozamiento con las paredes del conducto y

entre las partículas. A continuación, se presenta la expresión que relaciona las variables para determinar las pérdidas primarias, la ecuación de Darcy:

2.2.2.2. Ecuación de Darcy-Weisbach

Las pérdidas de carga primarias dentro de conductos están dadas por las propiedades físicas del material del que está fabricado, que, al tener una rugosidad, ejerce una fuerza de resistencia denominada fricción o rozamiento. Por lo tanto, todo material va a tener un factor propio, el factor f de fricción.

Al respecto del factor de fricción, Mott (2006) dice que una componente de las pérdidas totales de energía en el sistema (h_L), es la fricción que se manifiesta sobre el fluido. Esta fricción es proporcional a la velocidad del fluido y a la relación entre la longitud y el diámetro equivalente del conducto. Esta relación se expresa de la siguiente manera:

$$h_L = f x \frac{L}{D} x \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

dónde:

h_L : pérdida de energía debido a la fricción.

L : longitud del tramo de ducto.

D : diámetro húmedo del ducto.

v : velocidad promedio del fluido.

f : factor de fricción.

La ecuación de Darcy relaciona el factor de fricción f con las dimensiones del conducto y la velocidad del fluido, como indica Mott (2006), cuando el flujo es turbulento, la ecuación de Darcy es fundamental para determinar la pérdida de energía ocasionado por la fricción en el conducto. Debido a que el flujo turbulento es muy caótico, las pruebas han demostrado que para determinar el valor de f es necesario recurrir a los datos experimentales, resultando en una dependencia de otras magnitudes adimensionales como el número de Reynolds y la rugosidad relativa que, a su vez, depende del diámetro equivalente y la rugosidad absoluta.

2.2.2.3. Número de Reynolds

Se conoce que en los ensayos de túneles de viento dónde se evalúan las fuerzas predominantes en el flujo, a parte del gradiente de presiones, también actúan fuerzas debido a la viscosidad. Existe un número adimensional que relaciona la fuerza de la viscosidad con las magnitudes $\eta v L$, este número se denomina Número de Reynolds (Re) (Matáix, 1986). Y se expresa de la siguiente manera:

$$Re = \frac{\rho L v}{\eta} = \frac{L v}{\nu} \quad (4)$$

2.2.2.4. Diagrama de Moody

El diagrama de Moody es un gráfico que se utiliza para encontrar los factores de fricción de un conducto, en función al número de Reynolds y la rugosidad relativa, en todo su desarrollo, de laminar a turbulento completo.

El diagrama de Moody se utiliza para hallar los factores de fricción de forma manual y ello conlleva a encontrar valores aproximados solamente, que no van a tener la exactitud deseada para un cálculo sistemático, ver *Figura 1*.

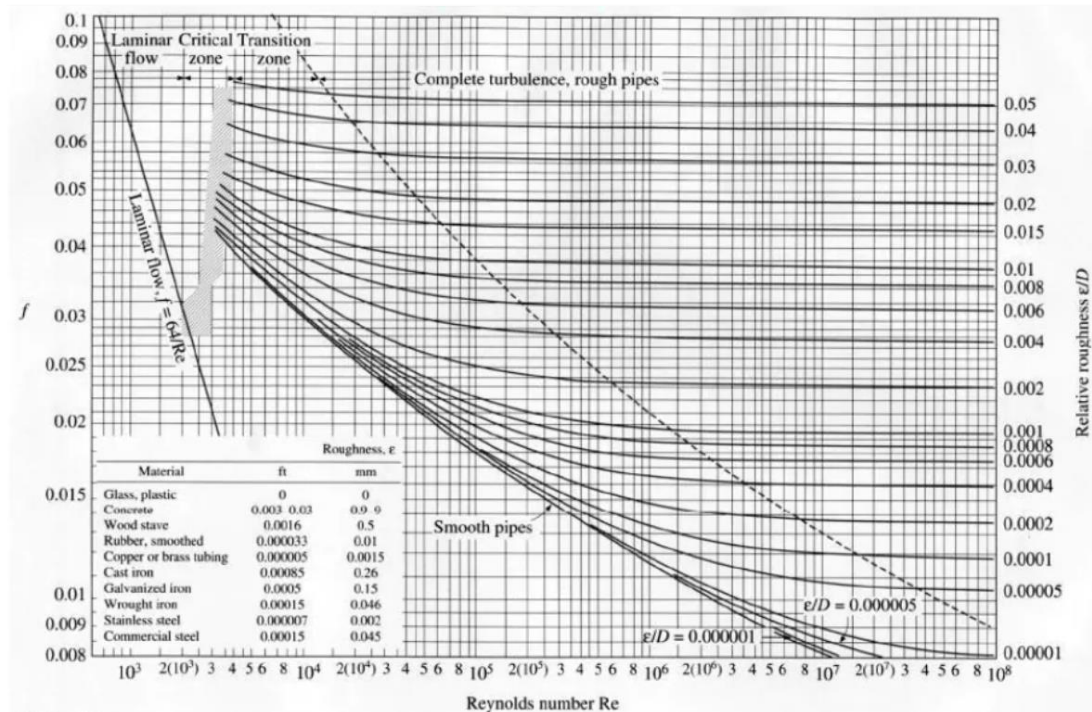


Figura 1. Diagrama de Moody. Tomada de “Mecánica de Fluidos”, por Mott. 2006, p. 237.

Para cálculos mucho más exactos que puedan ser programables en computadora, se debe emplear un modelo matemático que sirva para cada valor del desarrollo de flujo, y que relacione las variables de entrada y salida del diagrama de Moody, número de Reynolds y rugosidad relativa. Esta relación que permite el cálculo directo del valor del factor de fricción para flujo turbulento la desarrollaron P.K. Swamee y A.K. Jain.

Cálculo del factor f

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7(D/\epsilon)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (5)$$

dónde:

$D/\epsilon =$ rugosidad relativa

$N_R =$ número de Reynolds

El modelo matemático elaborado por Swamee y Jain, es una forma más exacta de analizar el factor de fricción para flujos turbulentos y turbulentos completos, puesto que se producen valores para f que oscilan entre $\pm 1.0 \%$, con valores de D/ϵ de 100 a 1×10^6 y número de Reynolds de 5×10^3 a 1×10^8 . Se entiende que esto coincide con la zona turbulenta del diagrama de Moody (Mott, 2006).

2.2.2.5. Pérdidas secundarias

Según Matáix (1986, p. 203), las pérdidas secundarias son “las pérdidas de forma, que tienen lugar en las transiciones, codos, válvulas y en toda clase de accesorios”. Por lo tanto, vienen a ser las pérdidas de presión producto del paso del fluido por accesorios que no sean los tramos rectos de ductos. La fórmula que se utiliza para calcular dichas pérdidas, viene dada por:

$$h_R = \delta x \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

dónde,

h_R : pérdida de carga secundaria.

δ : coeficiente adimensional de pérdida de carga (depende del tipo de accesorio).

v : velocidad media del fluido en el accesorio.

De esta manera, se podrá conocer las pérdidas totales del sistema de distribución de aire, al sumar las pérdidas primarias con las secundarias. Esto sirve para poder calcular la potencia del ventilador.

2.2.3. Potencia de un ventilador

La potencia de un ventilador depende de muchos factores de pérdidas, del sistema, dentro del equipo, por fugas de caudal, etc. Como indica Matáix (1986), estas pérdidas pueden clasificarse en hidráulicas, volumétricas y mecánicas.

Las pérdidas hidráulicas se dan dentro del sistema de distribución, y vienen a ser producto de la cargas primarias y secundarias que ejerce el fluido en todo el sistema de distribución de aire.

Las pérdidas volumétricas son las que se dan por fuga de aire en los acoples y juntas de unión, o por los choques del flujo de aire al momento de salir por el rodete del ventilador y chocar con las aspas, ocasionando que regresen en sentido contrario al flujo y disminuyendo su capacidad volumétrica.

Las pérdidas mecánicas se dan en los componentes del ventilador, producto de los elementos mecánicos como ejes, rozamiento de disco, motor, etc.

Debido a estas pérdidas generales, se debe considerar factores de eficiencia para incluirlos en la potencia útil del ventilador, como muestra la siguiente expresión matemática:

$$P = Q\rho gH \quad (7)$$

dónde,

P : potencia útil del ventilador (Potencia hidráulica).

Q : Caudal total del ventilador.

H : carga útil (caída de presión total del sistema).

De esta manera, la potencia de accionamiento que debe ofrecer el motor del equipo ventilador se expresa con la siguiente fórmula que corresponde a las

eficiencias consideradas para la corrección de la potencia útil que ofrece el ventilador al fluido para circular por el sistema:

$$P = \frac{Q\rho gH}{n_T} \quad (8)$$

dónde,

P : potencia útil del ventilador (Potencia hidráulica).

Q : Caudal total del ventilador.

H : carga útil (caída de presión total del sistema).

n_T : rendimiento total.

El rendimiento total es la expresión que encierra los rendimientos del sistema, como volumétrico, mecánico e hidráulico.

$$n_T = n_h n_v n_m \quad (9)$$

dónde,

n_h : rendimiento hidráulico.

n_v : rendimiento volumétrico.

n_m : rendimiento mecánico.

Rendimiento hidráulico, es la relación entre la carga útil (H) y la carga del sistema (H_s), y se expresa de la siguiente manera:

$$n_h = H_s/H \quad (10)$$

Rendimiento volumétrico, es la relación entre el caudal útil (Q) y el caudal del sistema (Q_s), y se expresa de la siguiente manera:

$$n_v = Q_s/Q \quad (11)$$

Rendimiento mecánico, es la relación entre la potencia útil (P) y la potencia de accionamiento del motor (P_a), y se expresa de la siguiente manera:

$$n_m = P_a/P \quad (12)$$

2.2.4. Metodología de selección de componentes

Existen muchos métodos en cada disciplina de estudio para seleccionar variables o componentes, en el caso de la ingeniería de diseño, se va a utilizar la metodología de selección de componentes para seleccionar equipos de ventilación. Para seleccionar un equipo, existen muchas variables a considerar para poder elegir el equipo más adecuado para que funcione en el sistema con el punto de diseño calculado, las variables pueden ser entre caudal, presión, costo, potencia, dimensiones, etc. Estos datos tienen una relevancia y no se pueden excluir ninguno de ellos, por lo que se debe asignar una valoración para poder generar una matriz que ordene los resultados obtenidos de esa asignación de variables. Los datos ordenados van a reducir en gran manera la resolución de la selección (Gutiérrez y Onieva, 2007).

2.2.5. Ecuaciones diferenciales de Navier-Stokes

El movimiento de los fluidos está sometido a varias fuerzas actuantes sobre el mismo, y estas fuerzas según Matáix (1986) son: la fuerza de gravedad, la fuerza causada por la diferencia de presiones, la fuerza de la viscosidad, la fuerza elástica y la tensión superficial.

Existe una expresión que relaciona la presión, velocidad, posición y aceleración de los fluidos ideales, esta es las ecuaciones de Euler:

$$\begin{aligned} v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \\ v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \\ v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} &= -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \quad (13)$$

En la realidad los recorridos y las velocidades que toma el fluido dentro de un ambiente cerrado son difíciles de predecir a lo largo del tiempo, además que dependen de la viscosidad. Por lo tanto, se utiliza otro tipo de expresiones para flujos reales. Estas expresiones son las ecuaciones de Navier-Stokes.

$$\begin{aligned}
\frac{dv_x}{dt} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 v_x \\
\frac{dv_y}{dt} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \nabla^2 v_y \\
\frac{dv_z}{dt} &= -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \nabla^2 v_z
\end{aligned}
\tag{14}$$

dónde,

∇^2 : operador de Laplace, cuya expresión es:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}
\tag{15}$$

ν : viscosidad cinemática.

2.3. Conceptual

2.3.1. Sistema de ventilación mecánica.

Según la norma española, la ventilación mecánica es la “Ventilación causada por el desplazamiento a presión positiva de los gases a través de un aireador” (UNE 23585, 2004, p. 18). Así mismo, la norma británica BS 7346-7 (2006, p. 6) define que es la “combinación de ventiladores de extracción, conductos, fuentes de alimentación y controles utilizados para eliminar los gases humeantes de un aparcamiento” y en el ámbito nacional, el Reglamento Nacional de Edificaciones RNE (2019, art. 3º) dice que es “El procedimiento controlado de renovación de aire en locales cerrados, mediante elementos y dispositivos electromecánicos, a diferencia de la ventilación natural variable y aleatoria”.

Entonces podemos decir que la ventilación mecánica es un sistema mecánico que está conformado por ventiladores controlados eléctricamente para evacuar cada cierto tiempo el volumen de aire estanco dentro de un recinto, y que se presenta necesario para no dejar el aire viciado en el interior del lugar.

A continuación, se puede observar en la siguiente figura, un esquema básico de un sistema de ventilación mecánica que evacúa el aire interior viciado y lo renueva con aire limpio suministrado desde el exterior.

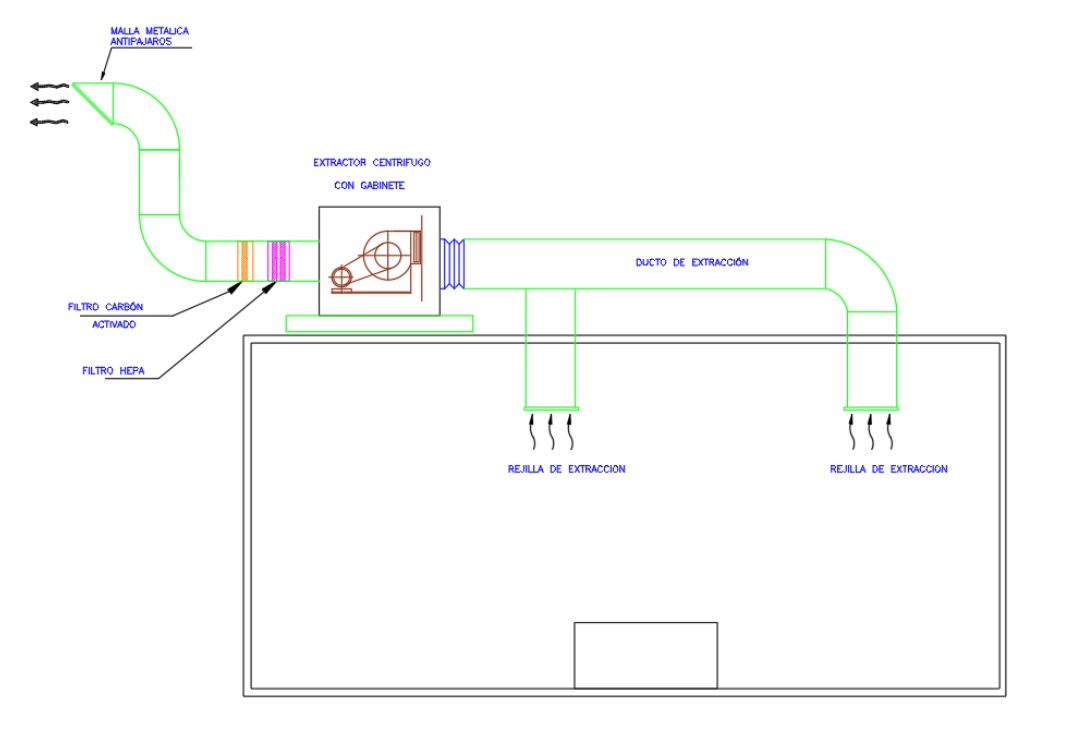


Figura 2. Esquema de principio: Sistema de extracción simple. Elaborado en AutoCAD.

2.3.2. Tipos de sistema de ventilación mecánica.

Existen muchas clasificaciones de sistemas de ventilación, de los cuales se mencionan los más utilizados en proyectos de edificaciones comerciales, viviendas e industriales.

2.3.2.1. Ventilación cruzada

Este tipo de ventilación utiliza lo que se denomina “doble flujo”, puesto que su configuración es con un flujo de inyección y un flujo de extracción; instalados en lados diametralmente opuestos uno del otro, generando un barrido del aire. Este tipo de sistema es muy utilizado en oficinas, almacenes grandes, baños públicos, estacionamientos, etc.

A continuación, se presenta en la Figura 3 que el flujo circula desde un externo de la sala, ingresando por la rejilla de inyección que está conectado al equipo inyector que impulsa aire hacia dentro del ambiente, y se desplaza hasta el otro extremo opuesto del ambiente, evacuando por la rejilla de extracción que está conectado al equipo extractor que está succionando el aire y expulsándolo hacia el exterior por la descarga fuera del ambiente.

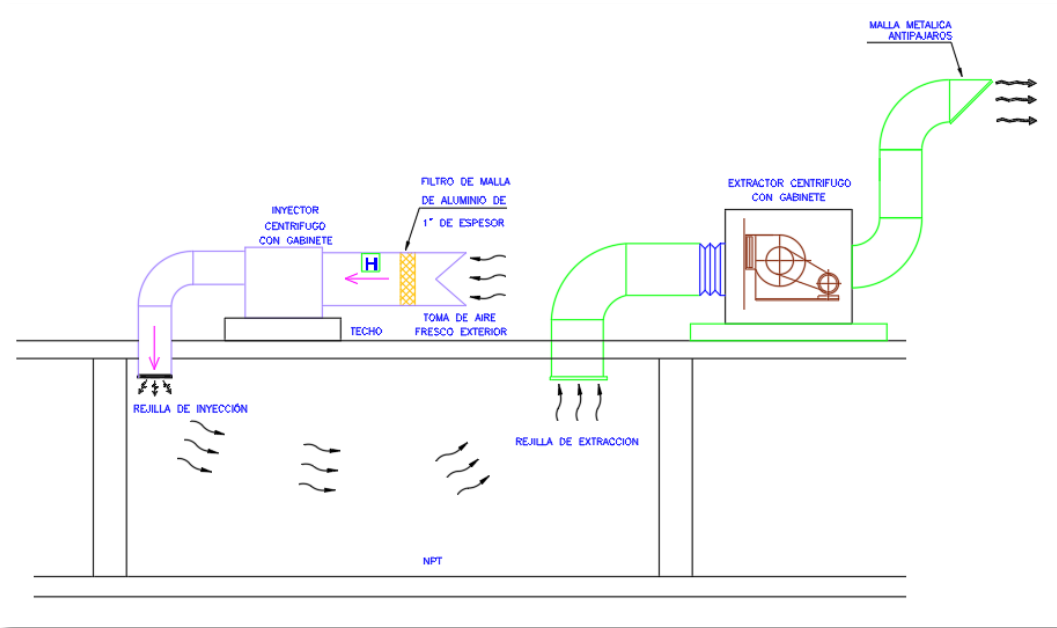


Figura 3. Esquema de principio: Ventilación cruzada. Elaborado en AutoCAD.

2.3.2.2. Ventilación semicruzada

En este tipo de configuración, también se utilizan dos flujos, dónde el flujo de extracción evacúa por el centro de la edificación, y los flujos de aire de inyección se suministran desde los contornos hacia el centro del recinto, generando que el flujo entre por los extremos y evacúe por el centro. Es muy utilizado en centros comerciales, grandes almacenes, patios de maniobras, tiendas, oficinas, etc.

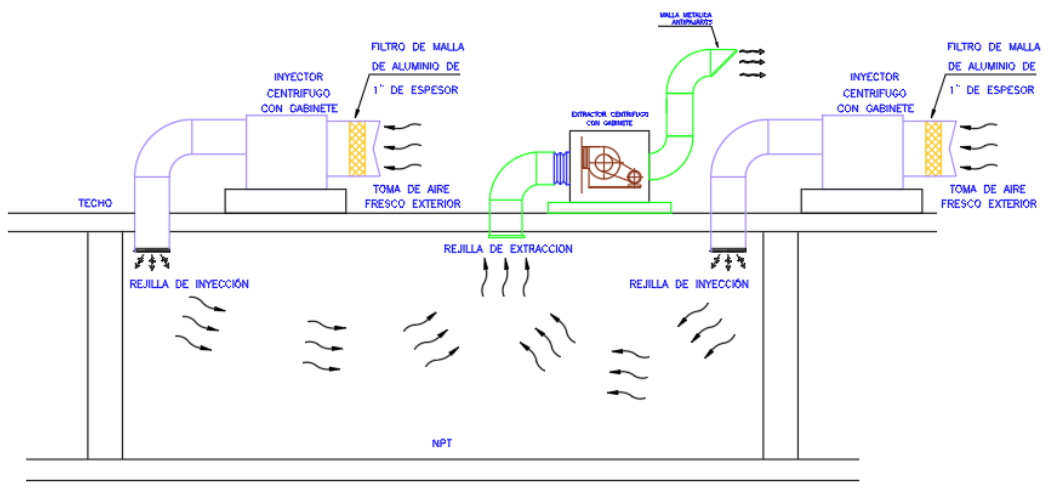


Figura 4. Esquema de principio: Ventilación semicruzada. Elaborado en AutoCAD.

2.3.2.3. Ventilación por capas

Son utilizados en lugares donde se tienen alturas grandes, pero que no tienen la necesidad de evacuar todo el volumen interior, sino solamente generar una capa de ventilación hasta una porción de altura necesaria.

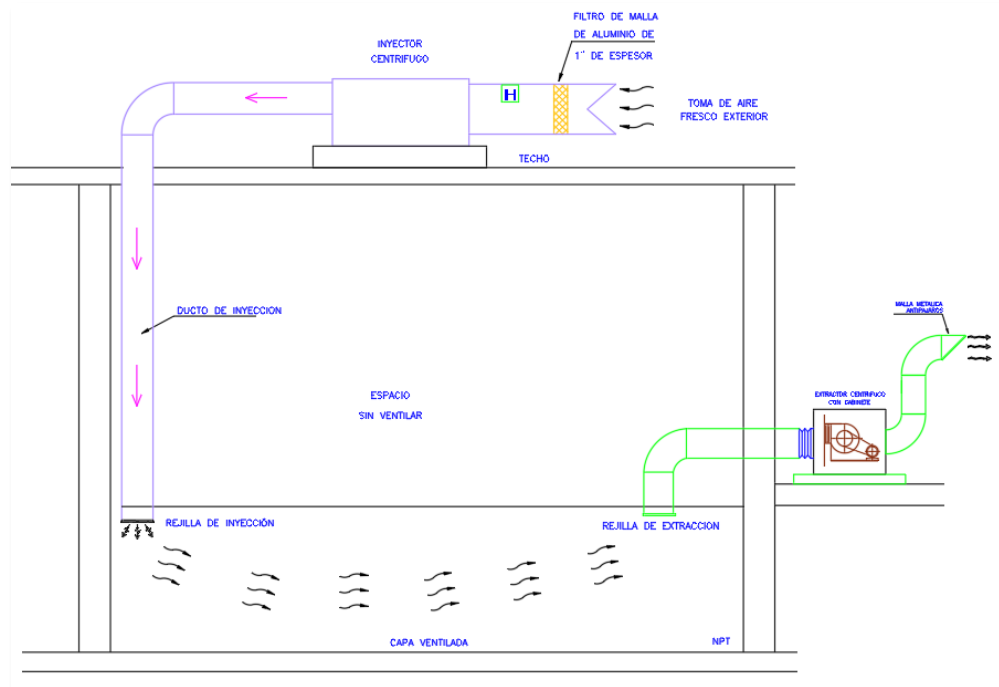


Figura 5. Esquema de principio: Ventilación por capas. Elaborado en AutoCAD.

2.3.2.4. Ventilación con presión positiva

En este sistema se tiene doble flujo, pero no están compensados, es decir, los caudales de extracción e inyección no son iguales numéricamente, sino que el caudal de inyección es mayor, lo que genera que ese exceso de aire impida el ingreso de partículas al recinto que se ventila. Es muy utilizado en cuartos presurizados, cuartos de procesos, salas de cirugía, etc.

En la siguiente figura, se aprecia un esquema básico de un sistema de presurización de escalera para incendios, en el que se garantiza una inyección de aire que no tiene retorno, lo que ocasiona una presión hacia fuera del ambiente, de tal manera que cuando alguien abra la puerta, el fuego no ingrese a la escalera de evacuación en caso de incendios.

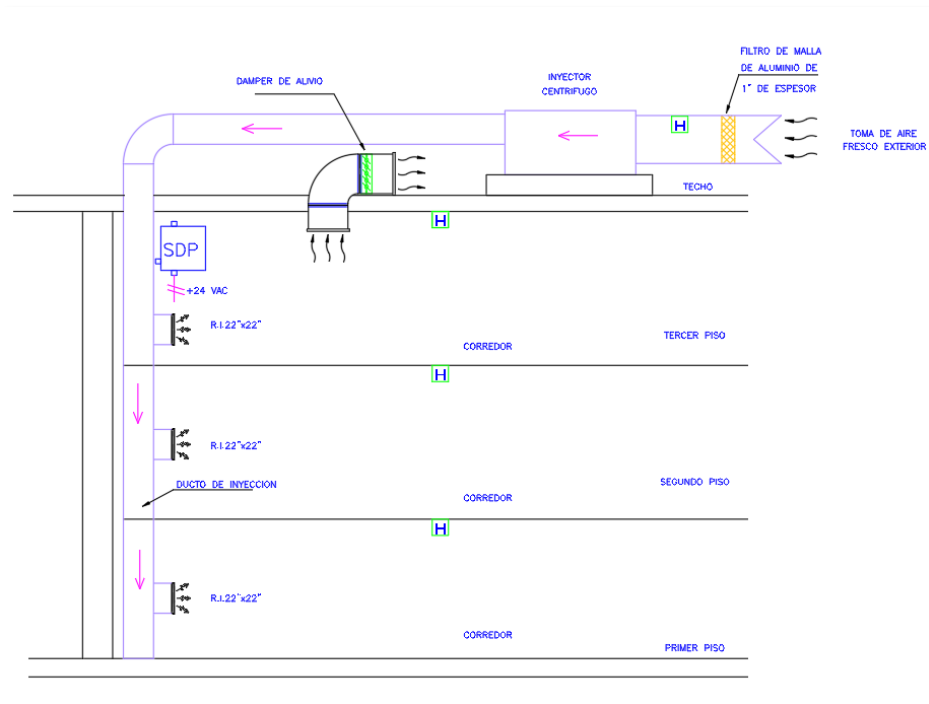


Figura 6. Esquema de principio: Ventilación con presión positiva. Elaborado en AutoCAD.

2.3.2.5. Ventilación con presión negativa

Este sistema es el contrario al de presión positiva, donde el caudal de extracción es mayor, lo que genera un exceso de succión que impide que olores o partículas salgan del recinto. Son muy utilizados en mortuorios, vestíbulos previos para incendios, centros de control de TBC, cuartos de basura, baños públicos, etc.

A continuación, se parecía en la Figura 7 un sistema de ventilación en cuarto de control de TBC de un hospital, este sistema funciona con una extracción en exceso, de tal manera que si se abre la puerta, la succión del sistema de extracción sea suficiente para que los contaminantes que están dentro del ambiente, no salgan hacia la intemperie, sino que evacúen únicamente por el extractor que posee caja portafiltros que purifica el aire para expulsarlo sin agentes contaminantes ni contagiosos.

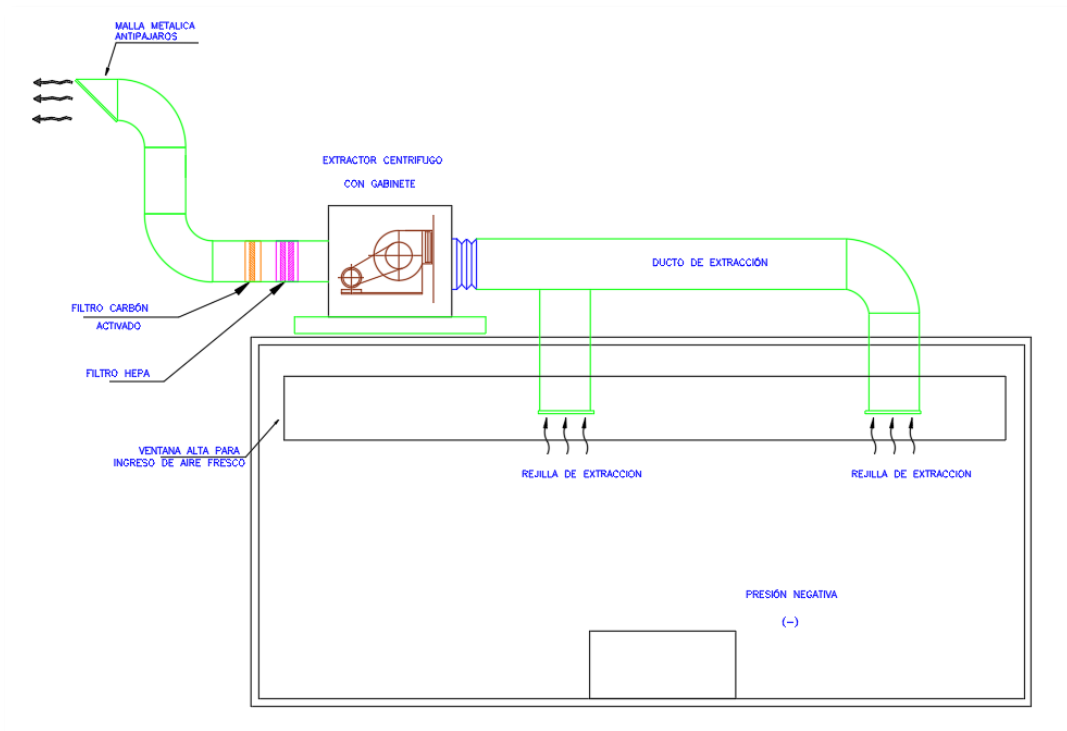


Figura 7. Esquema de principio: Ventilación con presión negativa. Elaborado en AutoCAD.

2.3.2.6. Ventilación por infiltración

En estos sistemas el flujo de extracción evacúa el aire al exterior por medio de ductos y el ingreso de aire se realiza por medio de rejillas en paredes o puertas, que ayudan a que el aire exterior se infiltre naturalmente producto de la descompensación de la presión dentro del recinto a ventilar. Es muy utilizado en depósitos de estacionamientos, almacenes, baños, etc.

En la siguiente figura, se aprecia un sistema que evacúa el aire que está dentro del ambiente por medio de un equipo extractor, pero el ingreso de aire fresco se realiza mediante la rejilla que se encuentra en la puerta. De esta manera, se realiza la infiltración de aire producto de la presión negativa que ocasiona el extractor, esa diferencia de presión es la que recupera el aire, captándolo del exterior por medio de la rejilla en la puerta.

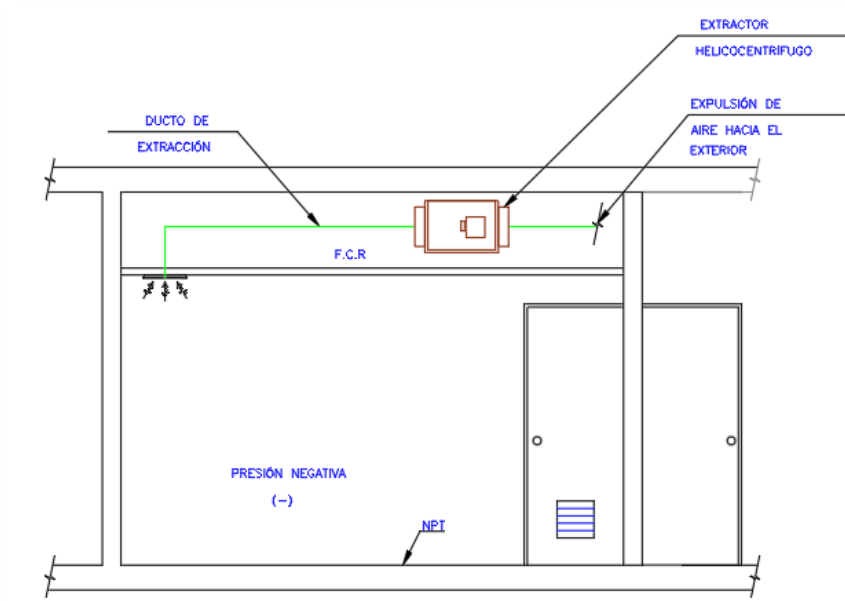


Figura 8. Esquema de principio: Ventilación por infiltración. Elaborado en AutoCAD.

2.3.2.7. Ventilación localizada

En este tipo de ventilación las bocas de succión se localizan puntualmente en la zona de emanación de gases contaminantes, malos olores o partículas, por medio de campanas de extracción. Puede ser compensado o no compensado y son muy utilizados en talleres de soldadura, talleres de mecanizado, cocinas, lavanderías, etc.

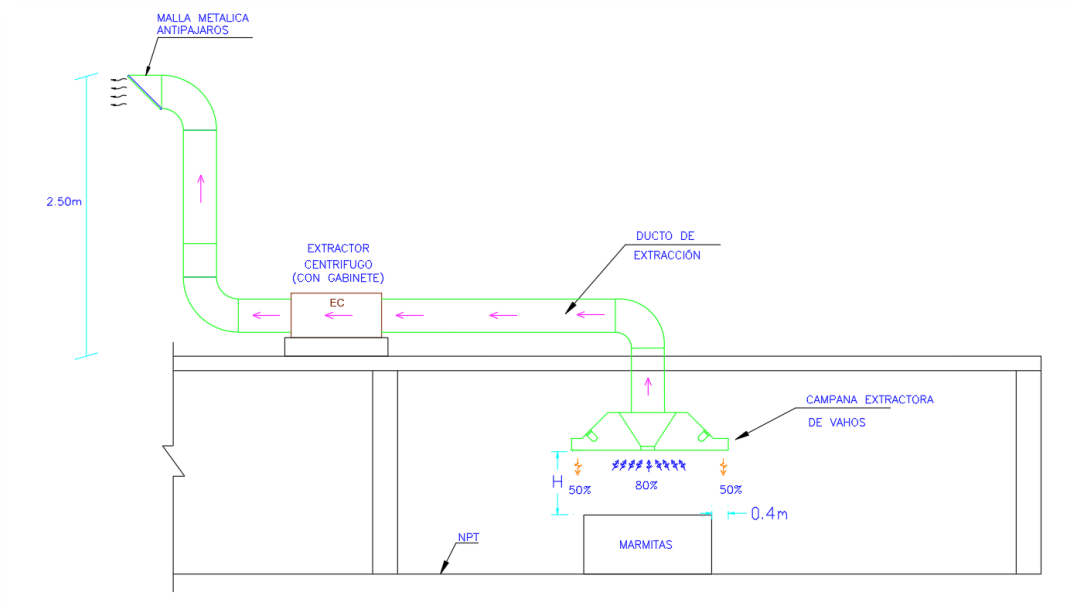


Figura 9. Esquema de principio: Ventilación localizada. Elaborado en AutoCAD.

2.3.3. Diseño de un sistema de ventilación con jetfan.

La norma británica dice que la ventilación mecánica es la “combinación de ventiladores de extracción, conductos, fuentes de alimentación y controles utilizados para eliminar los gases humeantes de un aparcamiento.” (BS 7346-7, 2006, p. 6). De igual modo, la definición que da de equipos jetfan es, “ventilador diseñado para transferir *momentum* al aire como parte de un impulso” (BS 7346-7, 2006, p. 7).

De esta manera, se entiende que un “Diseño de un sistema de ventilación mecánica con jetfan” es la elaboración o creación, mediante el cálculo, de una configuración de ventiladores de extracción e inyección apoyados del impulso (*momentum*) que ejerce los jetfan para empujar el aire viciado del recinto a ventilar y evacuarlo hacia afuera.

2.3.4. Componentes de un sistema de ventilación con jetfan.

El sistema de ventilación con jetfan está compuesto por 3 tipos de equipos, los extractores, inyectoros y los jetfan. Así mismo del sistema de distribución de aire, que son los ductos, compuertas y las bocas de salidas entradas de aire.

2.3.4.1. Ventilador



Figura 10. Tipos de ventiladores. Tomada de “Catálogo General”, por Sodeca, 2012.

Un ventilador es una máquina hidráulica diseñada para impulsar fluidos compresibles, tales como el aire en el caso de este proyecto. Se provee de un motor eléctrico para dar energía mecánica al rodete del impulsor y este genera una presión negativa en la succión para absorber el aire y lo impulsa con una fuerza y velocidad determinada hacia la línea de descarga. Según Matáix (1982) “Un ventilador esencialmente es una bomba de gas en vez de líquido. Por lo tanto: *Ventilador es una turbomáquina hidráulica generadora de gases*” (p. 423). También detalla que “Ventilador es la turbomáquina que absorbe energía mecánica y restituye energía a un gas, comunicándole un incremento de presión tal que el influjo de la compresibilidad puede despreciarse” (p. 424). Por otro lado, la norma española lo denomina aireador, UNE 23585 (2004, p. 14) “Dispositivo para mover gases dentro o fuera del edificio”. Así mismo, la norma británica dice algo similar: “dispositivo usado para mover gases fuera de un aparcamiento” (BS 7346-7, 2006, p. 6).

Existen muchos tipos de ventiladores para muchos usos y capacidades, Matáix (1982) clasifica los ventiladores según su presión total, de baja presión y de alta presión; y según la dirección del flujo, centrífugos y axiales. Los equipos de ventilación son diversos, y dependen de sus utilidades y la función que cumplen dentro del sistema, ya sea de inyección, extracción o impulsión. En la presente investigación nos vamos a concentrar en los equipos de ventilación que se nombran a continuación:

Ventilador centrífugo

Es un ventilador que succiona el aire de forma paralela al eje del rotor y lo expulsa de forma perpendicular. Estos equipos son utilizados para cargas de presión grandes y caudales grandes, mayormente para sistemas centralizados o en cuartos plenum. Existen varios tipos de ventiladores centrífugos, que básicamente se diferencian por la disposición del diseño de sus aletas.

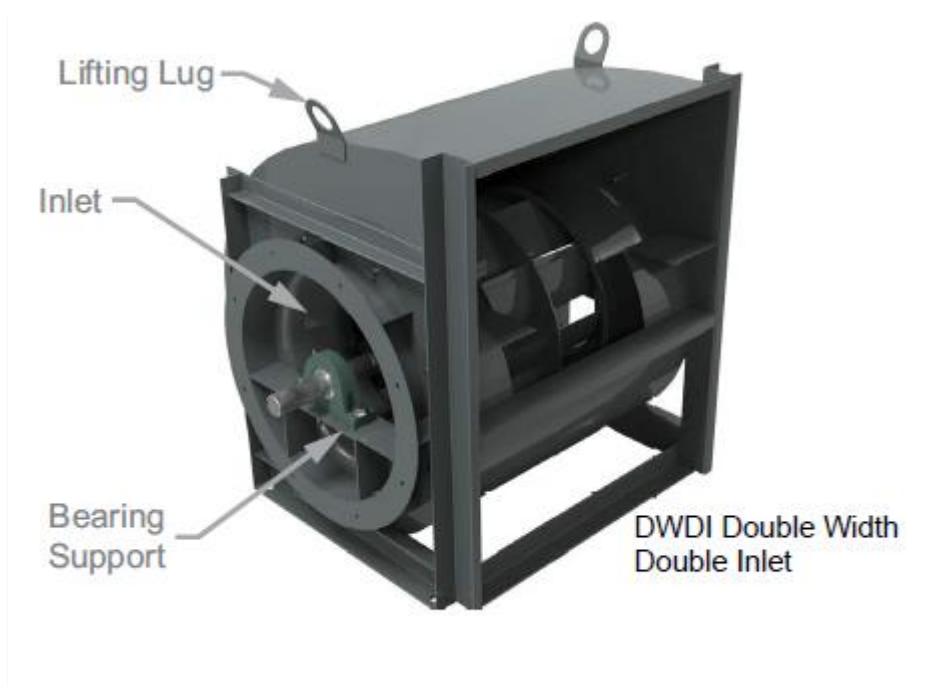


Figura 11. Ventilador centrífugo. Tomada de “Engineering Cookbook.”, por Cook. 2015, p. 5.

Para Loren Cook Company, especialista en diseños de sistemas de ventilación, un ventilador centrífugo succiona aire de forma paralela al eje de giro, y descarga el aire de forma perpendicular al eje de giro. Este tipo de ventiladores se utilizan más para sistema de alta presión (Cook, 2015).

Los ventiladores centrífugos son los más utilizados para sistemas de alta presión, dónde la caída de presión y caudal son de grandes valores y para sistemas centralizados, hay de tipos radiales, de aspas inclinadas, curvados hacia atrás, etc. Los fabricantes desarrollan nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia y la fuerza de succión, logrando lanzar modelos al mercado que se adaptan a situaciones particulares.

Ventilador axial

La definición que da Cook (2015, p. 1) dice: “Un ventilador axial descarga aire paralelo al eje del impulsor de rotación”. Entonces se entiende que un ventilador del tipo axial absorbe y descarga el aire paralelo al mismo eje de giro. Estos equipos son de baja potencia y mayormente son utilizados para sistemas de

ventilación murales, dónde la ventilación se realizará de un ambiente al otro contiguo.



Figura 12. Ventilador axial mural de aspas helicoidales. Tomada de “Catálogo General 60Hz.”, por Sodeca, 2012.

2.3.4.2. Jet Fan

Es un tipo de ventilador que no expulsa ni toma aire del exterior, sino que absorbe el aire mismo del ambiente confinado y lo reimpulsa hacia delante de su línea de acción con una fuerza determinada dada por el fabricante, que para el diseño es considerada en el cálculo y la selección.

La definición de la norma británica BS 7346-7 (2006, p. 7) dice, “ventilador diseñado para transferir *momentum* al aire como parte de un impulso”.

Los jetfan también tiene una clasificación según el sentido de flujo, están los centrífugos que absorben de forma perpendicular al dardo de impulsión que suelen ser de poca altura, por lo que son utilizados mayormente en edificaciones con dimensiones de piso a techo reducidas; por otro lado, tenemos los tubulares que serían los más comunes, estos absorben el flujo de aire de forma paralela y en un solo sentido con el dardo de impulsión y ofrecen mayor potencia y caudal.



Figura 13. Jetfan centrífugo. Tomada de “Catálogo General 60Hz.”, por Sodeca, 2012.



Figura 14. Jetfan tubular. Tomada de “Catálogo General 60Hz.”, por Sodeca, 2012.

2.3.5. Configuración de un sistema de ventilación mecánica con jetfan

A continuación, se presenta un esquema simple de un sistema de ventilación utilizando jetfan para darle impulso al flujo de aire que está circulando producto de la ventilación cruzada que ejercen los equipos extractores e inyectores:

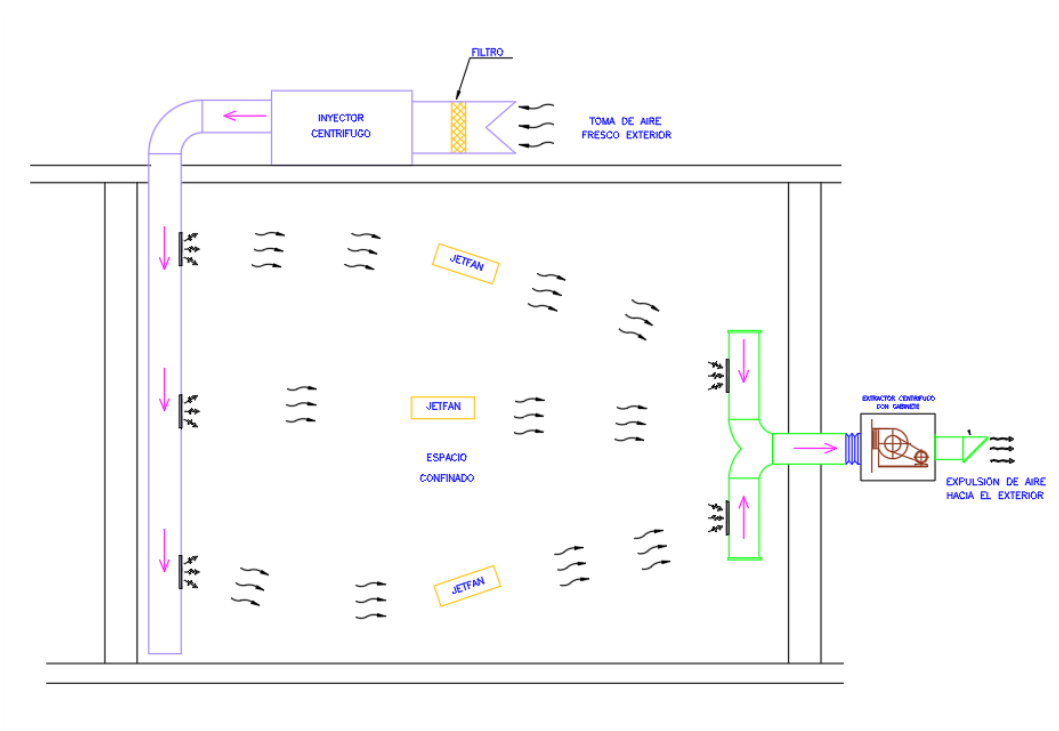


Figura 15. Esquema de ventilación cruzada con jetfan. Elaborado en AutoCAD.

De esta manera se aprecia que el propósito principal de proponer equipos jetfan para un sistema de ventilación cruzada, es para aportar impulso al flujo de aire y garantizar que cada vez que funcione el sistema, no quede aire estanco en el recorrido, sino que este circule, haciendo que la ventilación sea más eficiente.

2.3.6. Parámetros básicos de diseño.

2.3.6.1. Caudal

El caudal es el parámetro fundamental para el diseño del sistema de ventilación, para Matáix (1982) es el volumen del fluido por unidad de tiempo que circula a través de una sección transversal de conducto.

Si el área de la superficie no es plana, es necesario expresarlo de forma matemática con integrales como la siguiente expresión:

$$Q = \int c_n dA \quad (16)$$

Si \vec{c} es la velocidad media, perpendicular a la sección (A), de la ecuación (16), se deduce:

$$Q = \bar{c}A \quad (17)$$

dónde:

Q : caudal dentro del ducto.

\bar{c} : velocidad media del fluido dentro del ducto.

A : área de la sección del ducto.

2.3.6.2. Volumen

El volumen del espacio de estacionamientos, es un parámetro fundamental para el diseño de sistema de ventilación mecánica con jetfan, puesto que se necesita saber el volumen de aire ocupado dentro de los estacionamientos, donde se considera, para el cálculo, las zonas de estacionamientos y las zonas de circulación de vehículos como rampas y accesos.

2.3.7. Distribución de aire.

2.3.7.1. Clasificación

Están clasificados según la velocidad del fluido y la presión que ejerce el aire dentro del conducto (Carrier, 1980).

Según la velocidad

Se clasifican en sistemas de baja velocidad (convencionales) y los sistemas de alta velocidad. No existe un límite exacto que divida estos valores, pero según Carrier (1980), se puede dar una idea de los valores a considerar para el estudio, mediante la siguiente tabla:

Tabla 1. *Clasificación de sistemas de distribución según la velocidad del fluido*

	Locales comerciales		Locales industriales	
	Baja velocidad (m/s)	Alta velocidad (m/s)	Baja velocidad (m/s)	Alta velocidad (m/s)
Suministro	0-12	12-más	0-12	12-15
Retorno	0-10	0-10	0-12	0-12

Nota: Velocidades en conductos en sistemas de locales comerciales e industriales. Elaborado en base a los datos de "Manual de Aire Acondicionado (Handbook of Air Conditioning System Design)", por CARRIER, 1980, p. 2-21.

Según la presión

Según Carrier (1980), se clasifican en sistemas de baja presión, media presión y alta presión, como se muestra a continuación:

Tabla 2. Clasificación de sistemas de distribución según la presión del sistema

Baja presión (mm c.a.)	Mediana presión (mm c.a.)	Alta presión (mm c.a.)
0-90	90-180	180-300

Nota: Presiones en conductos en sistemas de locales comerciales e industriales. Elaborado en base a los datos de "Manual de Aire Acondicionado (Handbook of Air Conditioning System Design)", por CARRIER, 1980, p. 2-21.

2.3.7.2. Componentes

La distribución de aire es la parte fundamental del diseño, puesto que de ella depende si el sistema propuesto logra que el aire circule sin efectos de estancamiento y permita que el aire exterior entre y ocupe el espacio del aire viciado que se está extrayendo. Por lo tanto, existen diversos componentes que sirven para que el aire circule y conducirlo a las zonas de ventilación, estos son los ductos y los accesorios que componen las uniones y desviaciones del recorrido que se plantea en el diseño.

Ducto

Es un conducto cerrado que puede ser de sección circular o rectangular.

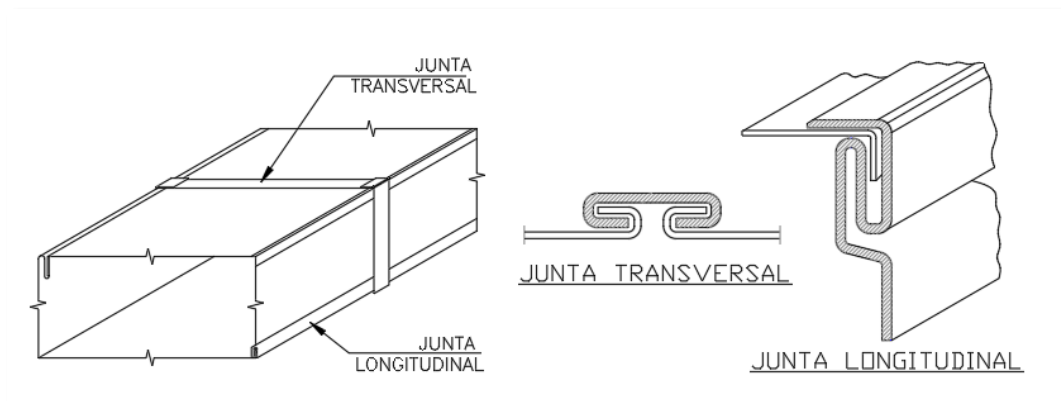


Figura 16. Detalle de ensamblaje de ducto de F⁰G⁰. Elaborado en AutoCAD en base a los criterios de fabricación.

En el RNE se tiene la siguiente definición: “Conducto empleado para conducir el aire de un lugar a otro. Sus características técnicas dependen de su aplicación en cuanto a geometría y materiales” (RNE, 2020, p. 26). En el manual de diseño de Carrier (1980, p. 2-21) dice sobre un sistema de distribución de aire “La misión de un sistema de conductos es transmitir el aire desde el aparato acondicionador hasta el espacio que va a ser acondicionado”. Esta definición la aclara en su manual de aire acondicionado, pero la idea principal de la definición es la misma para ventilación mecánica, entendiendo que un sistema de distribución de aire tiene como objetivo trasladar el aire desde un ventilador hasta el espacio que va a ser ventilado.

Existen algunos estándares y manuales con los que los ingenieros de HVAC diseñan los ductos, tales como SMACNA, CARRIER, PITTA, SALVADOR ESCODA, etc. En estos manuales, detalla que, para dimensionar los ductos, hay que conocer las pérdidas en las rutas de recorrido de aire debido a la fricción y a los accesorios instalados dentro de la ruta, tales como codos, desviaciones, rejillas, dámper, etc.

Accesorios

A continuación, se presentan los tipos de accesorios de ductos que se diseñan en los recorridos. Accesorios que muchas veces se utilizan dentro del diseño para acoplar partes de un recorrido con otro, o para desviar el flujo de una dirección a otra:

Transformaciones: Transforman una sección de ducto a otra de distintas dimensiones, “Se emplean las transformaciones para unir dos conductos de diferente forma o sección recta” (Carrier, 1980, p. 2-25).

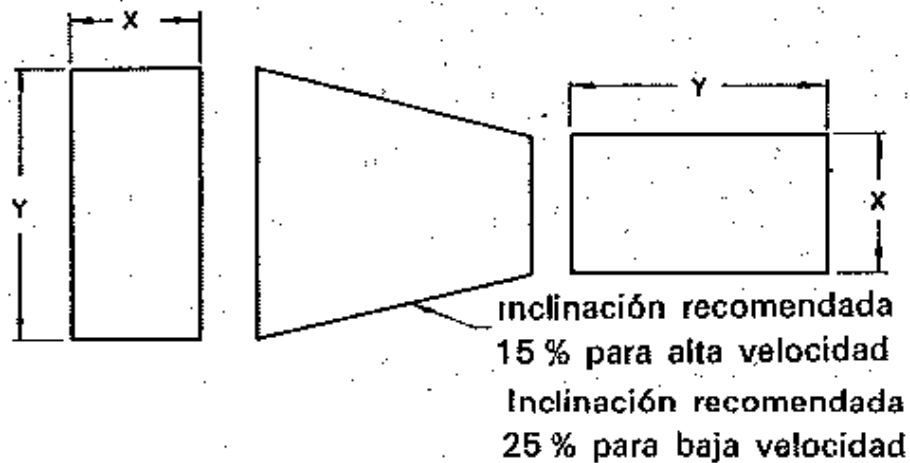


Figura 17. Transformación de ducto. Tomada de “Manual de Aire Acondicionado (Handbook of Air Conditioning System Design)”, por Carrier. 1980, p. 2-25.

Codos: Los codos son accesorios que se utilizan para acoplar dos secciones de ductos que no siguen la misma recta directriz, es decir, cuando hay un cambio de dirección, y se pueden fabricar de distintos ángulos, pero siempre considerando la suavidad de la curva del radio para garantizar que las pérdidas no sean excesivas. Para ello, muchas veces se le instalan deflectores o guidores del flujo para dar una conducción suave a l momento que el flujo entra en el giro del radio del codo. Ver Figura 18 y Figura 19.

Desviaciones: Existen múltiples tipos de desviaciones, que se utilizan cuando el recorrido de ducto se bifurca en más de una salida, como, por ejemplo, los pantalones, los brazos o collares de salida.

Ver en la Figura 20 los tipos de desviaciones más utilizados en ductos de ventilación, según el manual de Carrier, que se basa en la norma SMACNA para la fabricación de las figuras, que mantienen una proporción de dimensiones específicas para disminuir las pérdidas secundarias en estos accesorios.



Figura 18. Codo de 90°. Tomada de “Engineering Cookbook”, por Cook, 2015, p. 56.

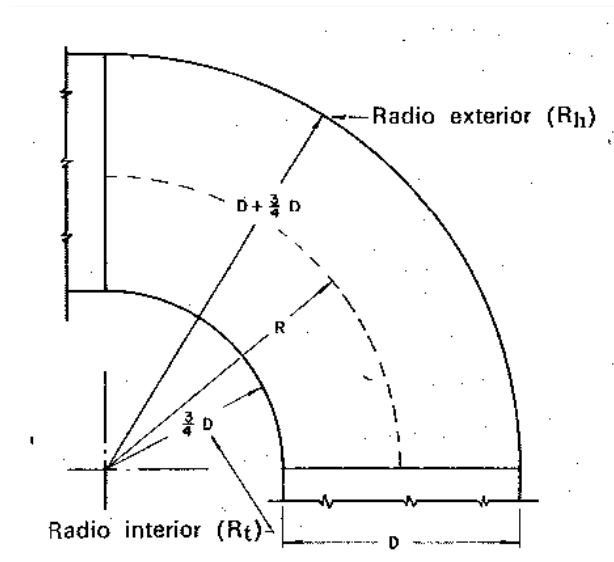


Figura 19. Codo de sección rectangular. Tomada de “Manual de Aire Acondicionado (Handbook of Air Conditioning System Design)”, por Carrier 1980, p. 2-27.

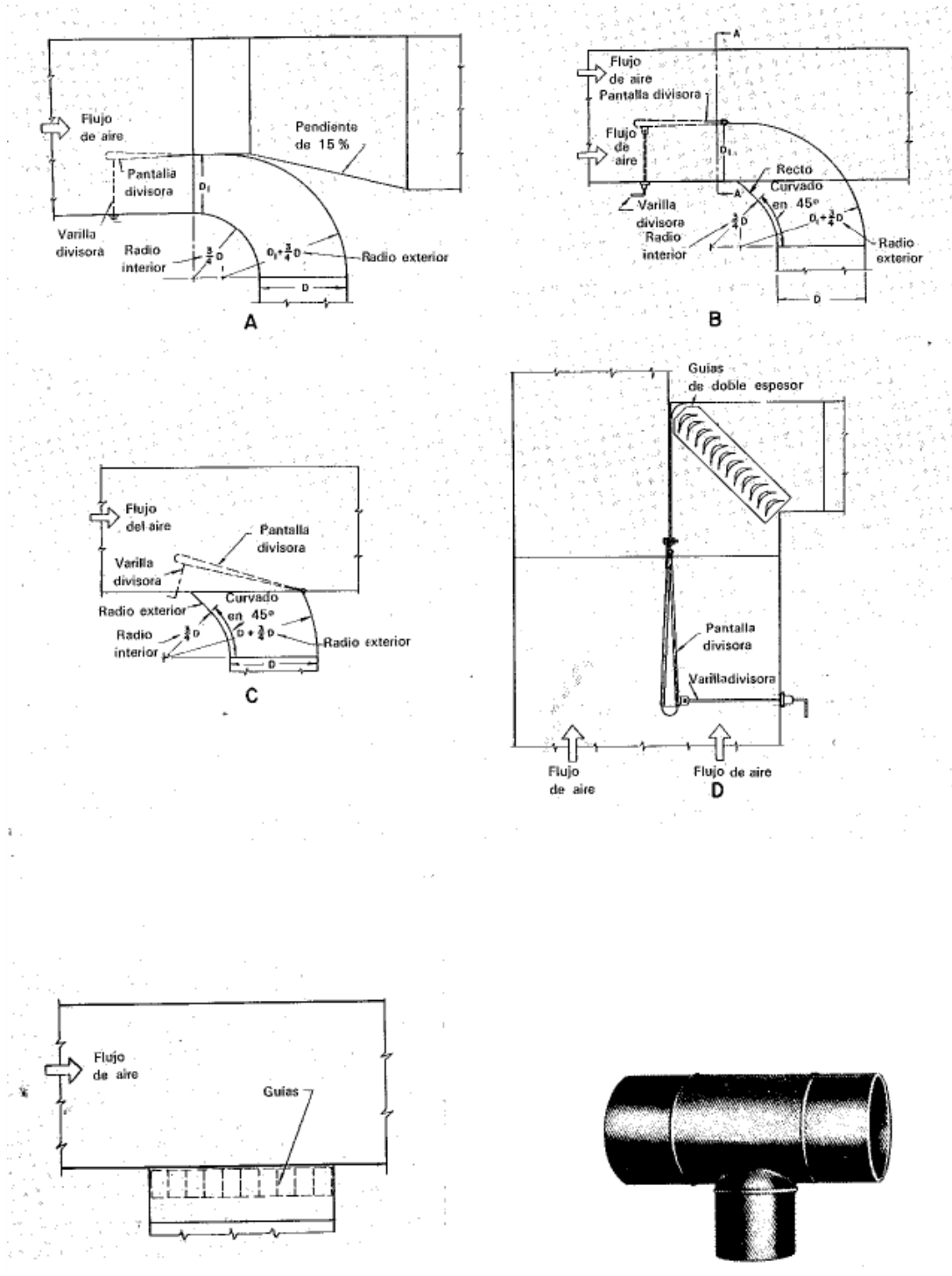


Figura 20. Desviaciones en ductos metálicos. Tomada de "Manual de Aire Acondicionado (Handbook of Air Conditioning System Design)", por Carrier 1980, p. 2-31.

Compuertas

Las compuertas vienen a ser las salidas de aire, ya sea hacia dentro del ducto o hacia fuera, siendo estas regulables manualmente o motorizados. Dentro de ellas están las rejillas, difusores, dámper, mallas, etc.

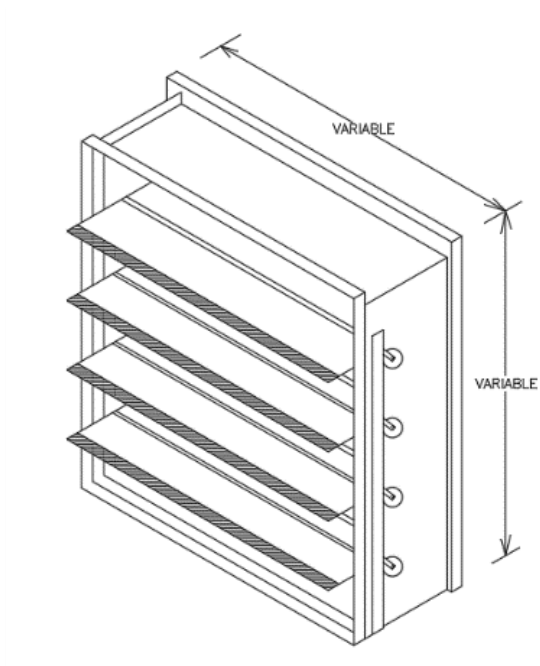


Figura 21. Esquema de dámper de gravedad. Elaborado en AutoCAD.



Figura 22. Rejilla de impulsión lama curva. Tomada de “Tarifa de precios de compuertas y rejillas”, por Salvador Escoda S.A.

En los sistemas de conducción siempre habrá pérdidas de presión producto del rozamiento y los accesorios que lo conforman, por ello se necesita calcularlos para poder seleccionar el equipo ventilador que tenga la potencia suficiente para vencer dichas pérdidas. A continuación, se presentan los métodos de cálculo de caída de presión para sistemas de distribución de aire.

Según Pitta (2005), se resuelven con el método de igual fricción o el método de recuperación estática.

El método de igual fricción se basa en encontrar un factor de pérdida de carga por longitud de ducto, determinándolo en base a la máxima velocidad admisible para que no genere ruido dentro del ambiente dónde se instalará. De esta manera, se considera la fricción igual para todos los tramos del ducto.

El método de recuperación estática es utilizado mayormente en sistemas de alta velocidad. La base de este método es reducir las velocidades en cada sección de ducto de modo que, el aumento resultante de presión estática sea el suficiente para compensar las pérdidas por fricción en la siguiente sección de ducto. Por lo tanto, la presión estática es la misma en cada unión del cabezal principal. (Pitta, 2005).

Según Carrier (1980), existe otro método que es el de reducción de velocidad que consiste en seleccionar una velocidad de salida en la descarga del ventilador y establecer arbitrariamente una serie de reducciones a lo largo del conducto.

En la realidad, no se utiliza un solo método independiente, sino que se debe de combinar los métodos para poder encontrar la pérdida de presión por longitud de conducto. Esto se puede realizar porque existen tablas de fabricantes que recomiendan velocidades adecuadas para los sistemas de alta y baja velocidad.

2.3.8. Criterios de selección.

Para seleccionar los equipos que se utilizaran en el sistema de ventilación mecánica con jetfan, se deben seguir ciertos criterios a tomar en cuenta, no solamente con los datos obtenidos de los cálculos, sino también ciertas consideraciones adicionales. Según Cook (2015), los parámetros principales,

entre otros, que se toma en cuenta para la selección en la presente investigación, se detallan a continuación:

2.3.8.1. Caída de presión

La caída de presión total del sistema diseñado resulta del cálculo de pérdidas en la ruta crítica, con este dato se debe contrastar en los catálogos disponibles de las marcas más utilizadas en el mercado.

2.3.8.2. Caudal de operación

El caudal de operación del ventilador, resulta de la contrastación del caudal calculado según el diseño de la investigación con las fichas de equipos disponibles que ofrecen caudales similares o superiores, son un exceso máximo de 25%.

2.3.8.3. Eficiencia o rendimiento

Con el caudal de operación y las pérdidas totales del sistema, se tendrá una lista de equipos disponibles, pero muchos de ellos en esos puntos de operación, no trabajan a una adecuada eficiencia, sino muchas veces lo hacen por debajo de la eficiencia óptima. Esto se puede ver en la curva de operación del ventilador que la ofrece el fabricante que vamos a seleccionar. Se busca utilizar un equipo con una eficiencia total mayor al 35%.

2.3.8.4. Dimensiones

Las dimensiones del equipo también son muy importantes puesto que la arquitectura es una limitante para ello. Muchas veces las alturas de los estacionamientos son grandes y otras veces solo poseen el mínimo, es por ello que al considerar ello, los equipos muchas veces van cambiar su configuración, por ejemplo, los equipos jetfan centrífugos son utilizados muchas veces para estacionamientos con vigas peraltadas que ofrecen poca altura de piso a fondo de losa, caso contrario de los jetfan tubulares que poseen carcasas voluminosas.

2.3.9. Gases contaminantes.

Según ASHRAE 62.1 (2007, p. 4) un contaminante es un “constituyente indeseable del aire que reduce la calidad del aire”. Entonces podemos decir que,

gases contaminantes son sustancias indeseables en estado gaseoso que pervierten la calidad del aire dentro de un ambiente confinado.

En un estacionamiento subterráneo, el aire interior está compuesto también de los gases contaminantes que reducen la calidad del mismo, provocando que sea dañino para la salud respirarlo.

2.3.10. Tipos de gases contaminantes.

Los gases contaminantes que encontramos dentro de un ambiente de estacionamientos, generalmente son gases de escape que son productos de la combustión interna de los motores. Esto nos lleva a analizar y conocer cuáles son los productos que arroja una combustión real de un combustible para automóviles. Los hidrocarburos utilizados como combustibles para vehículos, son compuestos de varios hidrocarburos, como dice Céngel (2012, p. 772) “Por ejemplo, la gasolina se trata como **octano C₈H₁₈**, y el diésel como **dodecano, C₁₂H₂₆**”.

Entre los productos que arroja una combustión de estos hidrocarburos pueden estar N₂, CO₂, O₂, H₂O y CO, y también otros como los hidrocarburos no combustionados, tales como SO₂ o SO₃ que son producto de la combustión del azufre, presente en los combustibles de bajo nivel de refinación y el NO, producto de la oxidación del N en cámaras de muy alta temperatura. Los niveles de estos productos pueden considerarse despreciables, porque sus concentraciones son muy bajas con respecto a los productos principales (Postigo, 2010).

2.3.11. Parámetros de concentración de gases contaminantes.

La norma ASHRAE considera con respecto a la concentración de contaminantes de combustión en los estacionamientos que, los automóviles en operación generan dos preocupaciones, la más grave producida por la emisión de CO con los riesgos para la salud que conlleva y la preocupación por los vapores de aceite y gasolina que producen efectos de náuseas y dolores de cabeza, así mismo como un riesgo potencial de incendio. Otro tipo de preocupación es por el NO_x y la neblina de humo de los motores diésel. Pero la tasa de ventilación necesaria para eliminar el CO a niveles recomendables, siempre que el porcentaje de

vehículos diésel no supere el 20%, suele ser suficiente (ASHRAE Handbook, 2019).

Entonces nos damos cuenta que los otros componentes de los gases de escape, que no sean el CO, son extraídos de igual manera al realizar la extracción del CO, de esta manera, basta con colocar sensores de CO que detecten las concentraciones máximas para que se active el sistema y se garantizará la evacuación de todos los gases contaminantes concentrados en el ambiente, reduciendo a niveles mínimos.

Los gases de escape, al estar compuestos de estos contaminantes, provocan daño a la salud de los ocupantes, según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), los efectos dañinos en el individuo al exponerse a emisiones de monóxido de carbono pueden causar fatiga, dolor de pecho, angina, visión deficiente, disminución de la función cerebral, deficiente coordinación de funciones, jaquecas, mareos, confusión, náuseas, síntomas de una gripe y en su estado agudo, la formación de carboxihemoglobina que inhibe la entrada de oxígeno en la sangre y provoca la muerte. Por otro lado, según el CDC (Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades), coincide con la recomendación de la EPA, en que la exposición a estos contaminantes, causa que dichas partículas se adhieran a las células de la sangre y formen las carboxihemoglobinas que reemplazan al oxígeno y no permiten que sea transportado a los órganos. También se adhieren a los tejidos y células de los órganos y los envenenan, ocasionando que se reduzcan sus funciones normales.

La norma ASHRAE 62.1 (2007, p. 17) detalla que “para cada contaminante de interés, el objetivo del límite de concentración y su correspondiente periodo de exposición y una adecuada referencia de la autoridad competente debe ser especificada”.

En distintas normativas se consideran tasas de concentración permisibles distintas, cada una considera concentraciones de CO máximas admisibles que no se deben exceder puesto que ocasionará daños a la salud. Se muestra la tabla a continuación de algunas normas con sus criterios:

Tabla 3. Estándar de calidad de aire según EPA.

Contaminante	Largo plazo			Corto plazo		
	Concentración promedio			Concentración promedio		
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm	
Dióxido de azufre	80	0,03	1 año	365	0,14	24 horas
Partículas (PM10)	50	-	1 año	150	-	24 horas
Partículas (PM 2,5)	15	-	1 año	65	-	24 horas
Monóxido de carbono				40 000	35	1 hora
				10 000	9	8 horas
Oxidantes (ozono)					0,12	1 hora
Dióxido de nitrógeno	100	0,053	1 año			
Plomo	1,5	-	3 meses			

Nota: Elaborado en base a “Ventilación para un Calidad Aceptable de Aire Interior”, por ASHRAE 62.1. 2007, p.5.

Tabla 4. Comparación de concentraciones permisibles.

	Niveles de exigencia y/o regulatorios			Niveles de guías y referencias que no son de exigencia			
	NAAQS/EPA (Ref. B-4)	OSHA (Ref. B-5)	MAK (Ref. B-2)	Canadian (Ref. B-8)	WHO/Europe (Ref. B-11)	NIOSH (Ref. B-13)	ACGIH (Ref. B-1)
Dióxido de carbón		500 ppm	5 000 ppm 10 000 ppm [1 h]	3 500 ppm [L]		5 000 ppm 30 000 ppm [15 min]	5 000 ppm 30 000 ppm [15 min]
Monóxido de carbón	9 ppm 35 ppm	50 ppm	30 ppm 60 ppm [30 min]	11 ppm [8 h] 25 ppm [1 h]	90 ppm [15 min] 50 ppm [30 min] 25 ppm [1 h] 10 ppm [8 h]	35 ppm 200 ppm	25 ppm
Formaldehído		0,75 ppm 2 ppm [15 min]	0,3 ppm 1 ppm	0,1 ppm [L] 0,5 ppm [L]	0,1 mg/m ³ 0,081 ppm [30 min]	0,016 ppm 0,1 ppm [15 min]	0,3 ppm
Plomo	1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [3 meses]	0,05 mg/m ³	0,1 mg/m ³ 1 mg/m ³ [30 min]	Minimizar exposición	1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [3 meses]	0,05 mg/m ³	0,05 mg/m ³
Dióxido de nitrógeno	0,05 ppm [1 año]	5 ppm	5 ppm 10 ppm [5 min]	0,05 ppm 0,25 ppm [1 h]	0,1 ppm [1 h] 0,02 ppm [1 año]	1 ppm [15 min]	3 ppm 5 ppm [15 min]
Ozono	0,12 ppm [1 h] 0,08 ppm	0,1 ppm		0,12 ppm [1 h]	0,064 ppm 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [8 h]	0,1 ppm	0,05 ppm 0,08 ppm 0,1 ppm 0,2 ppm
partículas<2,5 μm MMAD	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [1 año] 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [24 h]	5 mg/m ³	1,5 mh/m ³ for <4 mg/m ³	0,1 mg/m ³ [1 h] 0,04 mg/m ³ [L]			3 mg/m ³
partículas<10 μm MMAD	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [1 año] 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [24 h]		4 mg/m ³				10 mg/m ³
Radón				800 Bq/m ³ [1 año]			
Dióxido de azufre	0,03 ppm [1 año] 0,14 ppm [24 h]	5 ppm	0,5 ppm 1 ppm	0,38 ppm [5 min] 0,019 ppm	0,048 ppm [24 h] 0,012 ppm [1 año]	2 ppm 5 ppm [15 min]	2 ppm 5 ppm [15 min]
Total partículas		15 mg/m ³					

Nota: Elaborado en base a “Ventilación para un Calidad Aceptable de Aire Interior”, por ASHRAE 62.1. 2007, p.26.

El Reglamento Nacional de Edificaciones, a nivel nacional toma en cuenta las tasas permisibles según la OSHA, 50ppm como un máximo, por lo tanto, se pueden tomar la base de cálculo de las normas que consideren concentraciones menores a esta, tales como la ASHRAE que considera un máximo de 35ppm en territorio de los Estados Unidos de América.

2.3.12. Validación por CFD (Dinámica de Fluidos Computacional).

El análisis por CFD (traducido del inglés, Dinámica de Fluidos Computacional), se utiliza para diseñar, solucionar y sobre todo simular los sistemas que se han calculado para ventilación, mediante una computadora y un software (Ansys, Solidworks), que ejecutan los parámetros introducidos y prevén si el sistema diseñado funciona correctamente. Estas simulaciones, lo que hacen es resolver las ecuaciones del movimiento del fluido, las ecuaciones de Navier-Stokes. De esta manera se puede hacer varias simulaciones, prediciendo el comportamiento que va a tener el fluido cuando entre al espacio limitado por el volumen del ambiente que se va a ventilar.

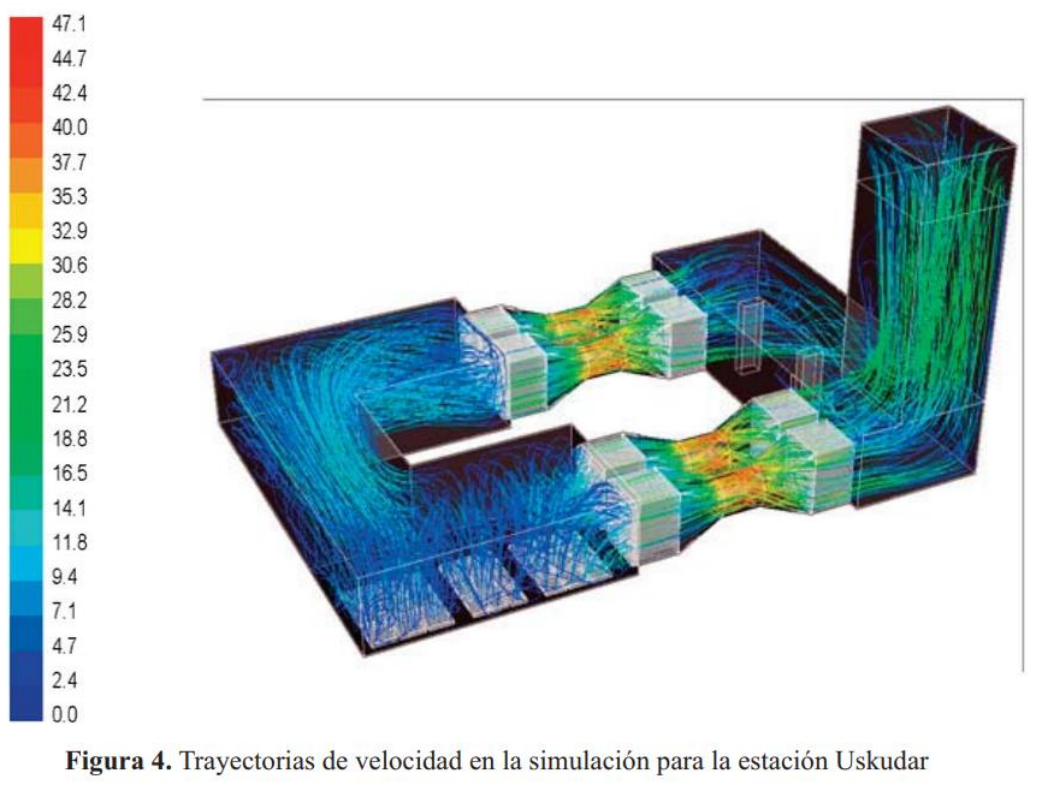


Figura 23. Simulación de sistema de ventilación con CFD. Tomado de “Validación de Modelos de Ventilación en Metros y Túneles Ferroviarios”, por Amado, Ana B. p. 7.

Para Potter, Wiggert y Ramadam (2015), el CFD es “la dinámica de fluidos computacional, o simplemente DFC, se ocupa de obtener soluciones numéricas para problemas de flujo de fluidos mediante el uso de computadoras” (p. 698).

En la presente investigación, el análisis por CFD se utilizará para validar si el diseño propuesto es adecuado y funciona correctamente, siguiendo el procedimiento como lo hace Amado (2011), dónde dice que primero se debe realizar el **preproceso** que consta del diseño del sistema, el mallado del espacio ventilado y las condiciones de contorno, luego de realiza la **resolución** de las ecuaciones diferenciales que describen la física de proceso, y por último el **postproceso**, que consta de la simulación del proceso de los cuáles podemos obtener gráficos computacionales.

2.3.13. Marco normativo de diseño.

El marco normativo en la cual se sustenta el diseño de la presente investigación, está regido por el Reglamento Nacional de Edificaciones, en la norma EM.030 que es el capítulo dedicado a las instalaciones mecánicas. En esta norma detalla el objetivo general de la ventilación mecánica. “La ventilación mecánica consistirá de ventilación forzada que suministre aire exterior [...] La ventilación forzada que se requiera y que suministre aire exterior, operará donde la edificación o parte de ella esté ocupada por personas” (RNE, 2014, art. 4º).

Con respecto a los criterios mínimos de ventilación, se detalla lo siguiente, “En todas las edificaciones empleadas para estacionamientos o manejo de automóviles operando con su propio motor, se debe proveer de una ventilación que produzca como mínimo una renovación de aire cada 12 minutos, $12 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ y una concentración máxima de 50 ppm. El proyectista debe presentar los (03) cálculos respectivos y optar por el valor mayor” (RNE, 2020, p. 33).

La norma ASHRAE dice lo siguiente con respecto a la ventilación en garajes: “El estacionamiento de automóviles puede ser completamente cerrado o parcialmente abierto. Las áreas de estacionamiento completamente cerradas suelen ser subterráneas y requieren ventilación mecánica” (ASHRAE HANDBOOK, 2011, p. 26).

Los estándares para el cálculo de los parámetros básicos de diseño se realizarán siguiendo las dos normativas anteriores, y posteriormente para realizar el diseño de la distribución de aire se seguirá el modelo de cálculo que detallan los manuales de HVAC de Carrier, Pitta, Salvador Escoda y los manuales de los

propios fabricantes de ventiladores y rejillas, tales como Soler&Palau, Sodeca, Koolair, Systemair, etc.

Se puede ver que la normativa nacional e internacional, recomienda que los estacionamientos cerrados subterráneos deben contar con ventilación mecánica para poder renovar el aire dentro de ellos.

2.4. Definición de términos básicos

AIRE EXTERIOR: Es el aire de la intemperie que se utiliza para renovar el que está dentro del recinto.

AIRE VICIADO: Es el aire contaminado y estanco dentro del recinto a ventilar.

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado)

CDC: Center for Disease Control and Prevention (Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades)

CONDUCTO: Ducto o tubería por el que circula un fluido.

ESTACIONAMIENTO: Lugar de aparcamiento o detención de un solo vehículo.

EXTRACCIÓN: Proceso de absorción del aire por medio de una boca de succión y un sistema de conductos.

EXTRACTOR: Ventilador que succiona el aire interior y lo expulsa afuera de la edificación.

DÁMPER: Compuerta metálica constituida de persianas movibles, que se utiliza para limitar y regular el flujo dentro del ducto o a la salida de una rejilla.

HVAC: Heating – Ventilation – Air Conditioning (Calefacción-Ventilación-Aire Acondicionado)

INYECCIÓN: Proceso de soplado o insuflado del aire por medio de una boca difusora y un sistema de conductos.

INYECTOR: Ventilador que toma el aire exterior y lo sopla dentro de la edificación.

NIVEL DE ESTACIONAMIENTO: Planta donde se ubica el conjunto de estacionamientos.

OSHA: Occupational Safety and Health Administration, OSHA (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional)

PPM: Partes por millón dentro de unidad de volumen, medida de concentración de una sustancia.

PRESIÓN ESTÁTICA: Es la presión que ejerce el fluido de forma transversal a las paredes del conducto, cuando no necesariamente está en movimiento.

PRESIÓN DINÁMICA: Es la presión que ejerce el fluido al circular por el conducto, producto de la velocidad del mismo.

PRESIÓN TOTAL: Es la suma de presión estática y dinámica.

REJILLA: Boca o compuerta para salida o ingreso del flujo.

RNE: Reglamento Nacional de Edificaciones.

SMACNA: Sheet Metal and Air Conditioning Contractor's National Association (Asociación Nacional de Contratistas de Chapa y Aire Acondicionado)

US EPA: United States Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos)

VENTILACIÓN FORZADA: Se considera al proceso de renovación de aire dentro de un recinto, de forma no natural, sino con equipos aireadores.

SENSOR DE MONÓXIDO: Dispositivo que censa el aire dentro del recinto y al superar el nivel permisible, acciona el sistema automáticamente y lo desactiva cuando los niveles de CO se hayan controlado producto de la ventilación mecánica.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

“Si se diseña un sistema de ventilación mecánica con jetfan mediante la normativa ASHRAE, RNE, y el empleo de CFD; se logra extraer la concentración de los gases contaminantes en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello”.

3.1.2. Hipótesis específica

- Si se determina los parámetros básicos mediante los procedimientos establecidos en la norma ASHRAE y el RNE, se logra diseñar el sistema de ventilación mecánica con jetfan para la extracción de gases contaminantes en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello.
- Si se diseña la distribución de aire mediante los criterios de cálculo del manual de Carrier, Salvador Escoda y Pitta; se logra una adecuada distribución de aire en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello.
- Si se selecciona los equipos del sistema de ventilación mecánica en base al criterio de selección de variables, se logra un óptimo funcionamiento del sistema de ventilación mecánica.
- Si se valida la extracción de los gases contaminantes a niveles de concentración permisibles mediante la simulación CFD, se comprueba el diseño mecánico del sistema de ventilación con jetfan en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello.

3.2. Definición conceptual de variables

3.2.1. Diseño de un sistema de ventilación mecánica con jetfan.

La norma británica dice que la ventilación mecánica es la “combinación de ventiladores de extracción, conductos, fuentes de alimentación y controles utilizados para eliminar los gases humeantes de un aparcamiento” (BS 7346-7, 2006, p. 6). Así mismo, la definición que da de equipos jetfan es, “ventilador

diseñado para transferir momentum al aire como parte de un impulso” (BS 7346-7, 2006, p. 7).

De esta manera, se entiende que un “Diseño de un sistema de ventilación con jetfan” es la elaboración o creación, mediante el cálculo, de una configuración de ventiladores de extracción e inyección apoyados del impulso (momentum) que ejerce los jetfan para empujar el aire viciado y eliminarlo de los estacionamientos.

3.2.2. Concentración de gases contaminantes.

Según ASHRAE 62.1 (2007, p. 4) un contaminante es un “constituyente indeseable del aire que reduce la calidad del aire”. Entonces podemos decir que gases contaminantes son sustancias indeseables en estado gaseoso que pervierten la calidad del aire dentro de un ambiente confinado.

Tabla 5. *Variables de la investigación.*

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE DE LA INVESTIGACIÓN
VARIABLE I	Diseño de un sistema de ventilación mecánica con jetfan
VARIABLE II	Concentración de gases contaminantes

Nota: Elaborado en base a las variables de la investigación.

3.3. Operacionalización de variables

La operacionalización de las variables se detalla en la siguiente tabla, dónde se expone las dimensiones, indicadores, índice y métodos-técnica de recolección de datos para cada una de las 2 variables que posee la presente investigación.

Tabla 6. Operacionalización de las variables.

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	MÉTODO Y TÉCNICA
VARIABLE I: Diseño de un sistema de ventilación mecánica con jetfan	Parámetros básicos de diseño	volumen	área x altura (estacionamientos)	MÉTODO
		caudal	volumen de aire/minuto (calculado)	
	Redes de distribución de aire	pérdidas	pulg. de columna de agua/100 pie de ducto	Cualitativo
		ruta crítica	máxima pérdida de presión (calculado)	Cuantitativo
	Selección de equipos de ventilación mecánica	caída de presión	máxima pérdida de presión (real)	TÉCNICA
		caudal de operación	volumen de aire/minuto (real)	
		eficiencia	potencia mecánica/ potencia eléctrica	
		dimensiones	largo, ancho, alto (fichas técnicas)	
	Validación de diseño de ventilación mecánica	preproceso	diseño, mallado, contorno	Empírica
		resolución	ecuaciones diferenciales	
		postproceso	gráficos de representación	
VARIABLE II: Concentración de gases contaminantes	Gases de escape de combustión (CO, NO _x , CO ₂ , N ₂)	concentración de gases	partes por millón /unidad volumen de aire	MÉTODO: Cualitativo TÉCNICA: Documental

Nota: Elaborado en base a las variables de la investigación.

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y diseño de la investigación

4.1.1. Tipo de investigación

Según Bernal (2010, p. 113), la investigación descriptiva tiene como principal función “la capacidad para seleccionar las características fundamentales del objeto de estudio y su descripción detallada de las partes, categorías o clases de ese objeto”. Por lo tanto, la presente investigación es de tipo descriptiva, según su finalidad, puesto que se describen las características principales del objeto de estudio y se detallan para cuantificarlas y realizar los cálculos respectivos para el diseño. En la presente investigación, las características principales del objeto de estudio son el área efectiva de ventilación y el volumen de aire ocupado asociado al área efectiva de ventilación.

Según Valderrama (2015, p. 164), dice que la investigación aplicada o práctica “se encuentra íntimamente ligada a la investigación básica, ya que depende de sus descubrimientos y aportes teóricos para llevar a cabo la solución de problemas, con la finalidad de generar bienestar a la sociedad”. Entonces se puede decir que la presente investigación también es del tipo práctica porque se basa en la teoría de mecánica de fluidos para solucionar el problema generado por la concentración de gases contaminantes dentro de los estacionamientos de la edificación, mediante el diseño de un sistema de ventilación con jetfan, y de esta manera genera un beneficio a los habitantes y a la comunidad, puesto que el modelo de diseño servirá como base para futuros proyectos de investigación.

4.1.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental, se puede ver que “se trata de estudios en los que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para analizarlos” (Sampieri, 2014, p. 152).

Por otro lado, también es transversal porque se “recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su

incidencia e interrelación en un momento dado. Es como “tomar una fotografía” de algo que sucede” (Sampieri, 2014, p. 152).

Según Espinoza (2010, p. 93) dice que un diseño descriptivo simple “Busca recoger información actualizada sobre el objeto de investigación”. De esta manera, se muestra el diagrama del diseño de la investigación descriptiva simple:

$$M \rightarrow O \quad (18)$$

dónde:

M: Los 4 niveles de estacionamientos.

O: Hojas de cálculo para determinar los parámetros de diseño.

4.2. Método de la investigación

Según Bernal (2010) dice que un método sintético, “Integra los componentes dispersos de un objeto de estudio para estudiarlos en su totalidad”. (p.60). Por lo tanto, podemos decir que el método de la investigación es sintético, ya que, al tener los componentes dispersos del objeto de estudio, que son las dimensiones de los estacionamientos del edificio Marbello, se estudian en conjunto y no por separado para obtener los parámetros de diseño y de esta manera calcular el sistema de ventilación mecánica con jettfan.

La presente investigación también es de método hipotético-deductivo porque plantea hipótesis iniciales basadas en el marco teórico de mecánica de fluidos, para resolver un problema específico de ventilación en estacionamientos. Bernal (2010) dice que el método hipotético-deductivo “Consiste en un procedimiento que parte de unas aseveraciones en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos”. (p. 60). En este caso, las hipótesis están en relación a las variables de diseño y al método para resolver el problema, supuestos que se validarán realizar los cálculos justificativos y realizar la simulación en un software.

4.3. Población y muestra

En el caso de esta investigación, la población y la muestra serán iguales, los 4 niveles de estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello. Los datos que se evaluaron fueron tomados de las características propias de la edificación, siendo estas fijas, constantes y no cambiantes a lo largo del tiempo, recogidos de los planos de arquitectura.

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

El estudio se realizó en el presente año 2021, en los 4 niveles de estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello, ubicado en el distrito de Magdalena del Mar, ciudad de Lima Metropolitana, provincia de Lima, Perú.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

Para la recolección de datos de la presente investigación se utilizó la técnica documental y la técnica empírica. Según Espinoza (2010, p. 110) la técnica documental “permite la recopilación de evidencias para demostrar las hipótesis de investigación. Está formada por documentos de diferente tipo: revistas, memorias, actas, registros, datos e información estadística y cualquier documento de instituciones y empresas que registran datos de su funcionamiento”. Así mismo dice que la técnica empírica “permite la observación en contacto directo con el objeto de estudio, y el acopio de testimonios que permitan confrontar la teoría con la práctica en la búsqueda de la verdad”. Por lo tanto, para la recolección de parámetros de diseño de la presente investigación, se utilizaron ambas técnicas como muestra el siguiente cuadro:

Tabla 7. *Técnicas e instrumentos de recolección de datos.*

TÉCNICA	INSTRUMENTOS	DESCRIPCIÓN
DOCUMENTAL	Ficha bibliográfica, ficha hemerográfica, ficha de trabajo, etc.	*Ficha técnica de equipos, accesorios, etc. *Tablas de Norma EM.030, ASHRAE, etc. *Memorias de cálculo y manuales
EMPÍRICA OBSERVACIÓN	Formularios, listas de verificación, hojas de registro, cámaras fotográficas y filmadoras, microscopios, micrómetros, etc.	*Tabla de parámetros básicos y cálculos *Planos de arquitectura *Herramientas de AutoCAD *Validación con simulador de CFD

Nota: Elaborado en base a las técnicas de recolección de datos de la investigación.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

El procesamiento de los datos obtenidos de las 2 técnicas, se da de la siguiente manera:

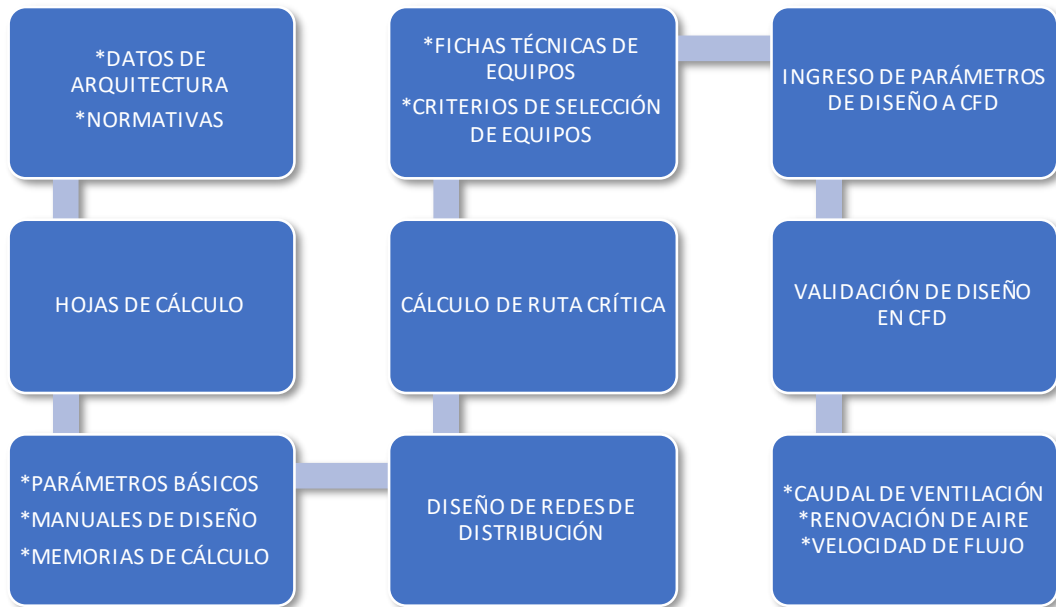


Figura 24. Diagrama de flujo de procesamiento de datos. Elaborado en base al procesamiento de datos para el diseño de la investigación.

4.7. Procedimiento de la investigación

4.7.1. Cálculo de los parámetros básicos de diseño

4.7.1.1. Cálculo del área de ventilación

Se calculó el área total de cada nivel, considerando sólo los estacionamientos y el área de circulación de vehículos, descontando los ambientes como depósitos o baños. Esta obtención de datos se realizó con la herramienta “**ÁREA**” del programa AutoCAD en el que se presentan los planos del proyecto. A continuación, se presenta una planta típica de los niveles de estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello, ubicado en el distrito de Magdalena del Mar, en el que se encuentra el objeto de estudio que son los 4 niveles de estacionamientos 1, 2, 3 y 4, siendo típicos del 2 al 4:

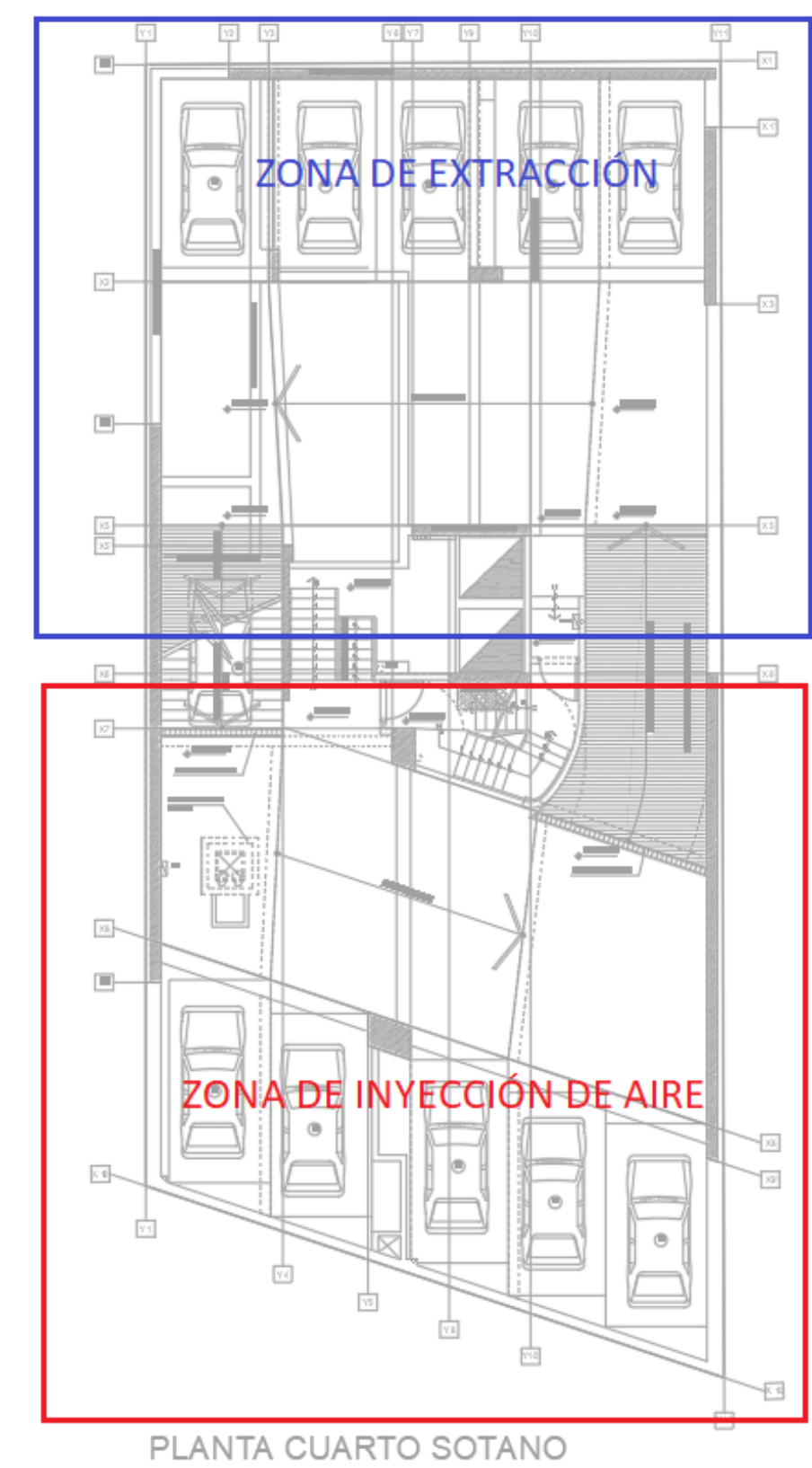


Figura 25. Plano de Planta Sótano 4. Tomado de los planos de arquitectura del proyecto en AutoCAD.

Tabla 8. Área del nivel de estacionamiento Sótano N°4.

DATOS DEL ESTACIONAMIENTO	UNIDADES	
	métrico	inglés
Área total del estacionamiento (A_t)	364.97 m ²	3926.49 ft ²
Altura del estacionamiento (H)	2.60 m	8.53 ft

Nota: Elaborado en base a las medidas extraídas de los planos en AutoCAD.

Tabla 9. Área del nivel de estacionamiento Sótano N°3.

DATOS DEL ESTACIONAMIENTO	UNIDADES	
	métrico	inglés
Área total del estacionamiento (A_t)	363.19 m ²	3907.34 ft ²
Altura del estacionamiento (H)	2.60 m	8.53 ft

Nota: Elaborado en base a las medidas extraídas de los planos en AutoCAD.

Tabla 10. Área del nivel de estacionamiento Sótano N°2.

DATOS DEL ESTACIONAMIENTO	UNIDADES	
	métrico	inglés
Área total del estacionamiento (A_t)	363.99 m ²	3915.95 ft ²
Altura del estacionamiento (H)	2.60 m	8.53 ft

Nota: Elaborado en base a las medidas extraídas de los planos en AutoCAD.

Tabla 11. Área del nivel de estacionamiento Sótano N°1.

DATOS DEL ESTACIONAMIENTO	UNIDADES	
	métrico	inglés
Área total del estacionamiento (A_t)	329.78 m ²	3547.91 ft ²
Altura del estacionamiento (H)	2.60 m	8.53 ft

Nota: Elaborado en base a las medidas extraídas de los planos en AutoCAD.

4.7.1.2. Cálculo de caudal de ventilación

Para determinar el caudal, se siguió el procedimiento como se estipula en el Handbook de ASHRAE, que considera determinar el caudal mediante la concentración de CO mínimo. Se presenta el siguiente procedimiento de cálculo de caudal de ventilación para los niveles de estacionamientos típicos de los sótanos 2, 3 y 4; según la norma ASHRAE, Handbook chapter 15:

Paso 1. Recolección de los siguientes datos:

- Número de carros en operación (N). Puede ser total o un porcentaje estimado, debido a que es poco probable que todos los autos funcionen a la vez.
- Tasa de emisión de CO por auto (E), según el Handbook de ASHRAE, ver la Tabla 12.
- Tiempo de recorrido de un auto dentro del estacionamiento (θ). Considerando el recorrido por niveles de estacionamiento separados.
- Concentración máxima permisible de CO, dentro del estacionamiento por 1 hora. Según Norma ASHRAE 62.1, ver la Tabla 3.
- Área total del estacionamiento (A_f). Ver Tabla 8 al 11.

Paso 2. Evaluación de la tasa de generación de CO (G):

El rango de generación de CO por unidad de área (G) se define con la fórmula:

$$G = Nx E / A_f \quad (19)$$

Para estimar el valor de la tasa de emisión de CO por auto, se utilizó la Tabla 12.

Tabla 12. Emisiones de CO previstas en garajes de estacionamiento.

Temporada	Emisión caliente (g/min)		Emisión fría (g/min)	
	1991	1996	1991	1996
Verano, 32°C	2,54	1,89	4,27	3,66
Invierno, 0°C	3,61	3,38	20,74	18,96

Nota: Elaborado en base a "Handbook-Enclosed Vehicular Facilities", por ASHRAE. 2011, chap. 15, p. 29, 30.

De la Tabla 12, se seleccionó el máximo valor de 20,74 g/min para las emisiones frías (vehículo al encender) y 3,61 g/min para las emisiones calientes (vehículo en movimiento). Puesto que los vehículos de esos años emitían mucho más CO que los vehículos actuales, según los reportes de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). Por lo tanto, el valor seleccionado será, $E=20,74 \text{ g/min}+3,61 \text{ g/min} = 24,35 \text{ g/min} = 1\ 461 \text{ g/h}$.

En el nivel de estacionamiento sótano 4 hay 11 estacionamientos disponibles, de los cuales se consideró el 70% de ellos, que resultarían en 8 vehículos en

funcionamiento. Entonces reemplazando los datos de **N**, **E** y **A_r** en la ecuación (19), se tiene:

$$G = 8 \times 1461 / 3926,49$$

$$G = 2,98 \text{ g/hxft}^2 \quad (20)$$

Paso 3. Se define el valor normalizado de generación de CO (*f*).

$$f = \frac{100 \times G}{G_0} \quad (21)$$

donde, *G*₀ indica el valor real de generación de CO según ASHRAE:

$$G_0 = 2,48 \text{ g/hxft}^2 \quad (22)$$

Entonces, se reemplaza los valores de (20) y (22) en (21) y se obtiene lo siguiente:

$$f = \frac{100 \times 2,98}{2,48}$$

$$f = 120,03 \quad (23)$$

Paso 4. Se determina la tasa mínima de ventilación requerida (*Q*) por unidad de área, que está definida por la siguiente fórmula:

$$Q = C \times f \times \theta \quad (24)$$

donde, *C* es la tasa de ventilación respecto al tiempo de circulación de un vehículo según ASHRAE, y toma valores con respecto a los niveles de concentración como muestra la Tabla 13.

Tabla 13. Tasas de ventilación respecto al tiempo.

C (10⁻⁴ cfm/ft²xs)	Concentración máxima (ppm)
2,37	15
1,363	25
0,948	35

Nota: Elaborado en base a "Handbook-Enclosed Vehicular Facilities", por ASHRAE. 2011, chap. 15, p. 29, 30.

La normativa en Estados Unidos indica que se debe considerar como concentración máxima 35ppm (Ver Tabla 4 en Capítulo II). Para el caso vamos a utilizar la concentración máxima según la normativa estadounidense, que estima un valor de 35ppm como máximo, puesto que, en el RNE en territorio nacional, exige que no se exceda de 50ppm (Norma EM.030, apartado 14.9.1). Por lo tanto, está dentro de lo recomendado.

$$C = 0,948 \times 10^{-4} \text{ cfm/ft}^2 \text{xs} \quad (25)$$

El tiempo transcurrido dentro del estacionamiento está limitado a la velocidad de circulación del vehículo para recorrer un nivel de estacionamiento. Por lo tanto, se tiene la siguiente fórmula para determinar el tiempo de recorrido:

$$\theta = d/v \quad (26)$$

dónde:

d = distancia recorrida dentro del nivel de estacionamiento (60m)

v = velocidad de circulación del vehículo (10km/h=2,78m/s).

Se reemplazan los valores en (16) y se obtiene:

$$\begin{aligned} \theta &= 21,58 \text{ s} \\ \theta &= 60 \text{ s} \end{aligned} \quad (27)$$

Se va a considerar como mínimo 60s. como tiempo de circulación, puesto que el valor calculado resulta muy bajo. Por lo tanto, se reemplaza (23), (25) y (27) en la ecuación (24).

$$\begin{aligned} Q &= 0,948 \times 10^{-4} \times 120,03 \times 60 \\ Q &= 0,6827 \text{ cfm/ft}^2 \end{aligned} \quad (28)$$

Paso 5. Determinar el caudal mínimo total (Q_t), se multiplica (28) con el área total del nivel de estacionamiento de la Tabla 8 y se obtiene:

$$Q_t = 2\,680,70 \text{ cfm} \quad (29)$$

A continuación, se presenta los cálculos de cada nivel de estacionamiento siguiendo el procedimiento descrito según ASHRAE.

01-CÁLCULO POR CONCENTRACIÓN DE CO SEGÚN ASHRAE	
Número de estacionamientos:	11
Autos en operación (N):	70% 8
Emisiones de CO por auto según ASHRAE (E):	1 461 g/h
Concentración máxima permitida de CO durante 1 hora:	35 ppm
Tiempo de recorrido del auto en el estacionamiento (θ):	60 seg.
01.01-CÁLCULO DE GENERACIÓN TOTAL DE CO:	ExN= 11 688 g/h
01.02-RANGO DE GENERACIÓN DE CO POR UNIDAD DE ÁREA (G):	2,98 g/h*ft ²
$G = \frac{ExN (g/h)}{\text{ÁREA} (ft^2)}$	
01.03-VALOR NORMALIZADO DE LA GENERACIÓN DE CO (f):	120,19
$f = \frac{100xG (\frac{g/h}{ft^2})}{G_o}$	
$G_o = 0,00546 \text{ lb/h*ft}^2 \quad 2,48 \text{ g/h*ft}^2$	
01.04-CAUDAL MÍNIMO DE AIRE POR UNIDAD DE ÁREA (Qo):	0,684 CFM/ft ²
$Q_o = Cxfx\theta$	
C (15ppm): 2,37 x10-4 cfm/ft ² *seg.	
C (25ppm): 1,36 x10-4 cfm/ft ² *seg.	
C (35ppm): 0,95 x10-4 cfm/ft ² *seg.	
01.05-CAUDAL MÍNIMO DE AIRE PARA TODO EL ESTACIONAMIENTO (Q)	
$Q = Q_o \times At$	
Q= 2 685 CFM	

Figura 26. Cálculo de caudal por concentración de CO según ASHRAE, para nivel sótano N°4. Elaborado en Microsoft Excel.

01-CÁLCULO POR CONCENTRACIÓN DE CO SEGÚN ASHRAE	
Número de estacionamientos:	10
Autos en operación (N):	70% 7
Emisiones de CO por auto según ASHRAE (E):	1 461 g/h
Concentración máxima permitida de CO durante 1 hora:	35 ppm
Tiempo de recorrido del auto en el estacionamiento (θ):	60 seg.
01.01-CÁLCULO DE GENERACIÓN TOTAL DE CO:	ExN= 10 227 g/h
01.02-RANGO DE GENERACIÓN DE CO POR UNIDAD DE ÁREA (G):	2,62 g/h*ft ²
$G = \frac{ExN (g/h)}{\text{ÁREA} (ft^2)}$	
01.03-VALOR NORMALIZADO DE LA GENERACIÓN DE CO (f):	105,68
$f = \frac{100xG (\frac{g/h}{ft^2})}{G_o}$	
$G_o = 0,00546 \text{ lb/h*ft}^2 \quad 2,48 \text{ g/h*ft}^2$	
01.04-CAUDAL MÍNIMO DE AIRE POR UNIDAD DE ÁREA (Qo):	0,601 CFM/ft ²
$Q_o = Cxfx\theta$	
C (15ppm): 2,37 x10-4 cfm/ft ² *seg.	
C (25ppm): 1,36 x10-4 cfm/ft ² *seg.	
C (35ppm): 0,95 x10-4 cfm/ft ² *seg.	
01.05-CAUDAL MÍNIMO DE AIRE PARA TODO EL ESTACIONAMIENTO (Q)	
$Q = Q_o \times At$	
Q= 2 349 CFM	

Figura 27. Cálculo de caudal por concentración de CO según ASHRAE, para nivel sótano N°3. Elaborado en Microsoft Excel.

01-CÁLCULO POR CONCENTRACIÓN DE CO SEGÚN ASHRAE	
Número de estacionamientos:	10
Autos en operación (N):	70% 7
Emisiones de CO por auto según ASHRAE (E):	1 461 g/h
Concentración máxima permitida de CO durante 1 hora:	35 ppm
Tiempo de recorrido del auto en el estacionamiento (θ):	60 seg.
01.01-CÁLCULO DE GENERACIÓN TOTAL DE CO:	ExN= 10 227 g/h
01.02-RANGO DE GENERACIÓN DE CO POR UNIDAD DE ÁREA (G):	2,61 g/h*ft ²
$G = \frac{ExN (g/h)}{\text{ÁREA} (ft^2)}$	
01.03-VALOR NORMALIZADO DE LA GENERACIÓN DE CO (f):	105,45
$f = \frac{100xG \left(\frac{g/h}{ft^2}\right)}{Go}$	
Go= 0,00546 lb/h*ft² 2,48 g/h*ft²	
01.04-CAUDAL MÍNIMO DE AIRE POR UNIDAD DE ÁREA (Qo):	0,600 CFM/ft ²
$Qo = Cxfx\theta$	
C (15ppm): 2,37 x10-4 cfm/ft ² *seg.	
C (25ppm): 1,36 x10-4 cfm/ft ² *seg.	
C (35ppm): 0,95 x10-4 cfm/ft ² *seg.	
01.05-CAUDAL MÍNIMO DE AIRE PARA TODO EL ESTACIONAMIENTO (Q)	
$Q = Qo \times At$	
Q= 2 349 CFM	

Figura 28. Cálculo de caudal por concentración de CO según ASHRAE, para nivel sótano N°2. Elaborado en Microsoft Excel.

01-CÁLCULO POR CONCENTRACIÓN DE CO SEGÚN ASHRAE	
Número de estacionamientos:	7
Autos en operación (N):	70% 5
Emisiones de CO por auto según ASHRAE (E):	1 461 g/h
Concentración máxima permitida de CO durante 1 hora:	35 ppm
Tiempo de recorrido del auto en el estacionamiento (θ):	60 seg.
01.01-CÁLCULO DE GENERACIÓN TOTAL DE CO:	ExN= 7 305 g/h
01.02-RANGO DE GENERACIÓN DE CO POR UNIDAD DE ÁREA (G):	2,06 g/h*ft ²
$G = \frac{ExN (g/h)}{\text{ÁREA} (ft^2)}$	
01.03-VALOR NORMALIZADO DE LA GENERACIÓN DE CO (f):	83,14
$f = \frac{100xG \left(\frac{g/h}{ft^2}\right)}{Go}$	
Go= 0,00546 lb/h*ft² 2,48 g/h*ft²	
01.04-CAUDAL MÍNIMO DE AIRE POR UNIDAD DE ÁREA (Qo):	0,473 CFM/ft ²
$Qo = Cxfx\theta$	
C (15ppm): 2,37 x10-4 cfm/ft ² *seg.	
C (25ppm): 1,36 x10-4 cfm/ft ² *seg.	
C (35ppm): 0,95 x10-4 cfm/ft ² *seg.	
01.05-CAUDAL MÍNIMO DE AIRE PARA TODO EL ESTACIONAMIENTO (Q)	
$Q = Qo \times At$	
Q= 1 678 CFM	

Figura 29. Cálculo de caudal por concentración de CO según ASHRAE, para nivel sótano N°1. Elaborado en Microsoft Excel.

Luego de calcular el caudal según ASHRAE, se calculó el caudal considerando la tasa mínima de ventilación en función al área de estacionamiento ($12\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$) y el volumen (1 renovación completa de aire cada 12 minutos), mencionado en la norma E.M.030, apartado 14.9.1 del RNE. A continuación, se presenta las siguientes hojas de cálculo utilizadas para hallar el caudal total de ventilación para cada nivel de estacionamiento según el RNE.

02-CÁLCULO SEGÚN REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (RNE)	
02.01-CAUDAL MÍNIMO EN FUNCIÓN AL ÁREA	
NORMA TÉCNICA E.M.030 - SUB NORMA 7.1.6.1	
Doce metros cúbicos de aire exterior, por hora y por cada metro cuadrado.	$12\text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$
$Q = 12xAt\ (\text{m}^3/\text{h})$	Q= 4 380 m³/h
	Q= 2 578 CFM
02.02-CUDAL MÍNIMO EN FUNCIÓN AL VOLUMEN	
NORMA TÉCNICA E.M.030 - SUB NORMA 7.1.6.1	
Un renovación completa de aire cada 12 minutos como mínimo.	5 ren/h
$Q = 5xAtxH\ (\text{m}^3/\text{h})$	Q= 4 745 m³/h
	Q= 2 793 CFM

Figura 30. Cálculo de caudal por tasa de área y volumen según RNE-EM.030, para nivel sótano N°4. Elaborado en Microsoft Excel.

02-CÁLCULO SEGÚN REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (RNE)	
02.01-CAUDAL MÍNIMO EN FUNCIÓN AL ÁREA	
NORMA TÉCNICA E.M.030 - SUB NORMA 7.1.6.1	
Doce metros cúbicos de aire exterior, por hora y por cada metro cuadrado.	$12\text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$
$Q = 12xAt\ (\text{m}^3/\text{h})$	Q= 4 358 m³/h
	Q= 2 565 CFM
02.02-CUDAL MÍNIMO EN FUNCIÓN AL VOLUMEN	
NORMA TÉCNICA E.M.030 - SUB NORMA 7.1.6.1	
Un renovación completa de aire cada 12 minutos como mínimo.	5 ren/h
$Q = 5xAtxH\ (\text{m}^3/\text{h})$	Q= 4 721 m³/h
	Q= 2 779 CFM

Figura 31. Cálculo de caudal por tasa de área y volumen según RNE-EM.030, para nivel sótano N°3. Elaborado en Microsoft Excel.

02-CÁLCULO SEGÚN REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (RNE)		
02.01-CAUDAL MÍNIMO EN FUNCIÓN AL ÁREA		
NORMA TÉCNICA E.M.030 - SUB NORMA 7.1.6.1		
Doce metros cúbicos de aire exterior, por hora y por cada metro cuadrado.		12 m ³ /h*m ²
$Q = 12xAt (m^3/h)$	Q=	4 368 m ³ /h
	Q=	2 571 CFM
02.02-CUDAL MÍNIMO EN FUNCIÓN AL VOLUMEN		
NORMA TÉCNICA E.M.030 - SUB NORMA 7.1.6.1		
Un renovación completa de aire cada 12 minutos como mínimo.		5 ren/h
$Q = 5xAtxH (m3/h)$	Q=	4 732 m ³ /h
	Q=	2 785 CFM

Figura 32. Cálculo de caudal por tasa de área y volumen según RNE-EM.030, para nivel sótano N°2. Elaborado en Microsoft Excel.

02-CÁLCULO SEGÚN REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (RNE)		
02.01-CAUDAL MÍNIMO EN FUNCIÓN AL ÁREA		
NORMA TÉCNICA E.M.030 - SUB NORMA 7.1.6.1		
Doce metros cúbicos de aire exterior, por hora y por cada metro cuadrado.		12 m ³ /h*m ²
$Q = 12xAt (m^3/h)$	Q=	3 957 m ³ /h
	Q=	2 329 CFM
02.02-CUDAL MÍNIMO EN FUNCIÓN AL VOLUMEN		
NORMA TÉCNICA E.M.030 - SUB NORMA 7.1.6.1		
Un renovación completa de aire cada 12 minutos como mínimo.		5 ren/h
$Q = 5xAtxH (m3/h)$	Q=	4 287 m ³ /h
	Q=	2 523 CFM

Figura 33. Cálculo de caudal por tasa de área y volumen según RNE-EM.030, para nivel sótano N°1. Elaborado en Microsoft Excel

Luego de calcular el caudal con los 3 métodos para cada nivel de estacionamiento, se eligió el mayor de todos ellos y se redondeó para considerar un valor múltiplo de 5 como caudal de diseño. De esta manera, el caudal necesario para ventilar los niveles de estacionamiento sótano 2, 3 y 4 es:

$$Q_{sot.2,3,4} = 2\ 800\ cfm \quad (30)$$

El caudal de diseño necesario para ventilar el nivel sótano 1 es:

$$Q_{sot.1} = 2\ 600\ cfm \quad (31)$$

4.7.2. Diseño de la distribución de aire

4.7.2.1. Cálculo de la caída de presión en ductos.

En este proceso se calculó las dimensiones de los ductos de distribución, también la cantidad de rejillas y dimensiones de las mismas para distribuir el aire de inyección y extracción. En primer lugar, se calculó la distribución en la zona de inyección y posteriormente en la zona de extracción.

Debido a que el volumen y caudal de los sótanos 2, 3 y 4 son numéricamente iguales, el cálculo para ellos se consideró igual, y para el sótano 1 se realizó otro en una hoja de cálculo aparte.

El caudal de ventilación de los niveles de estacionamiento sótano 2, 3 y 4 es de 2 800 cfm, se planteó distribuir las rejillas de inyección de forma uniforme en la zona de inyección, siendo un total de 5 rejillas de 560 cfm cada una, como muestra la Figura 34.

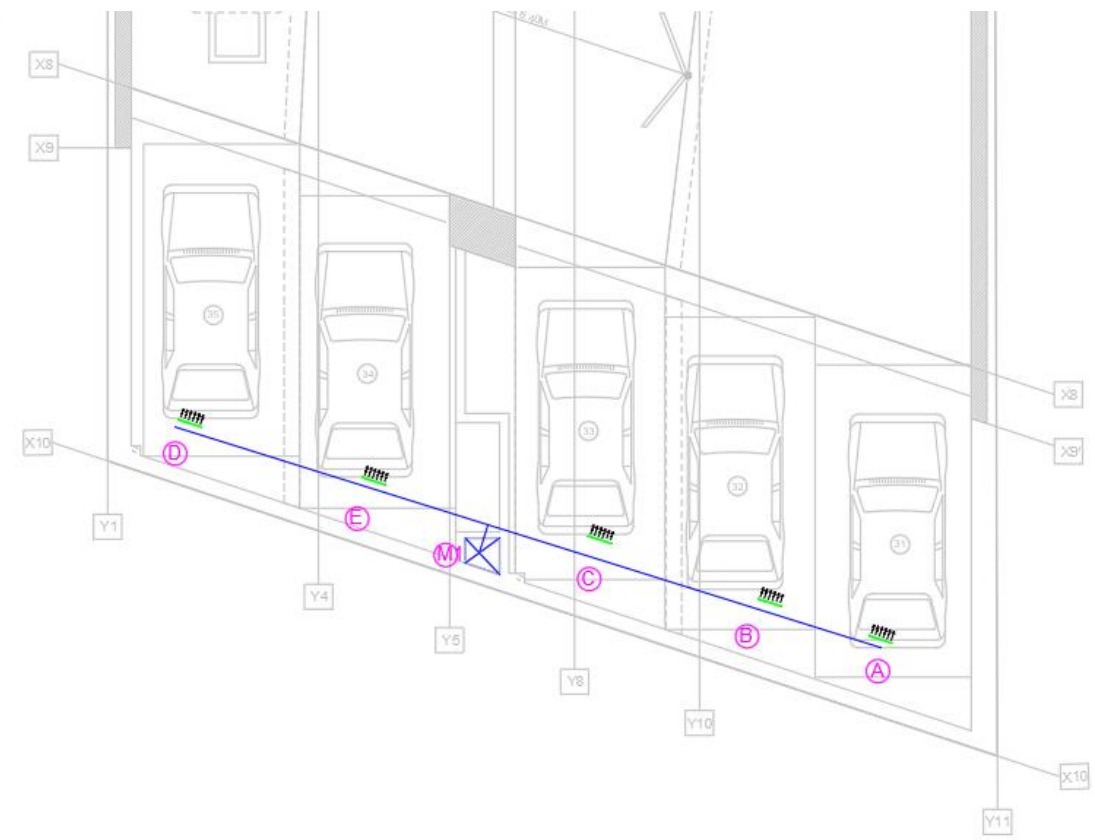


Figura 34. Distribución de rejillas en zona de inyección en nivel sótano N° 2, 3 y 4.

Tomada de los planos en AutoCAD.

Una vez que se ha establecido las ubicaciones de las rejillas y se ha planteado el recorrido desde la toma de aire hasta la última rejilla, se procede a dimensionar los ductos del sistema de distribución, mediante la combinación del método de rozamiento constante, y velocidad constante. El procedimiento se realiza empezando desde el punto más alejado al equipo, y de esta manera, dimensionar desde el ducto más pequeño con menos caudal, hasta el ducto más grande que se conecte al equipo ventilador o al montante, como muestra la Figura 34, utilizando como dato el caudal que fluye a través de dicha sección y la velocidad permisible o recomendada del flujo. Para poder elegir la velocidad, podemos utilizar la tabla de valores que recomienda el manual de Carrier considerando el nivel de ruido que pueden causar al pasar por el ducto.

Tabla 14. *Velocidades máximas recomendadas para sistemas de baja velocidad.*

APLICACIÓN	FACTOR DE CONTROL DEL NIVEL DE RUIDO (Conductos principales)	FACTOR DE CONTROL - ROZAMIENTO EN CONDUCTO			
		Conductos principales		Conductos derivados	
		Suministro	Retorno	Suministro	Retorno
Residenciales	3	5	4	3	3
Apartamentos					
Dormitorios de hostel	5	7,5	6,5	6	5
Dormitorio de hospital					
Oficinas particulares					
Despachos de directores	6	10	7,5	8	6
Bibliotecas					
Salas de cine y teatro	4	6,5	5,5	6	4
Auditorios					
Oficinas públicas					
Restaurantes de primera categoría	7,5	10	7,5	8	6
Comercios de primera categoría					
Bancos					
Comercios de categoría media	9	10	7,5	8	6
Cafeterías					
Locales industriales	12,5	15	9	11	7,5

Nota: Adaptada de "Manual de Aire Acondicionado (Handbook of Air Conditioning System Design)", por CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. 1980, p. 2-43.

Analizando la Tabla 14, podemos darnos cuenta que no especifica la velocidad máxima dentro de un ducto en ambiente de estacionamientos, pero podemos considerar el valor designado para ambientes industriales, puesto que las demás categorías son de ambientes de bajo ruido y en un estacionamiento no es necesario preservar un bajo ruido, puesto que no es un área habitable, sino de

circulación, por lo que se va a considerar una velocidad intermedia de 6 m/s para los ductos derivados que están directamente conectados a las rejillas y una velocidad de 8 m/s para los ductos principales que se conectan directamente al equipo y también para la misma montante de mampostería. De esta manera, se procede a analizar el tramo más alejado de la primera rejilla de extracción:

Tramo A-B:

$$Q = 560 \text{ cfm} = 264,29 \text{ L/s} = 952 \text{ m}^3/\text{h} \quad (32)$$

$$v = 1\,200 \text{ fpm} = 6 \text{ m/s} \quad (33)$$

$$l = 6,14 \text{ ft} = 1,87 \text{ m} \quad (34)$$

Se ingresa los valores al ábaco de cálculo de caída de presión del **ANEXO 11**:

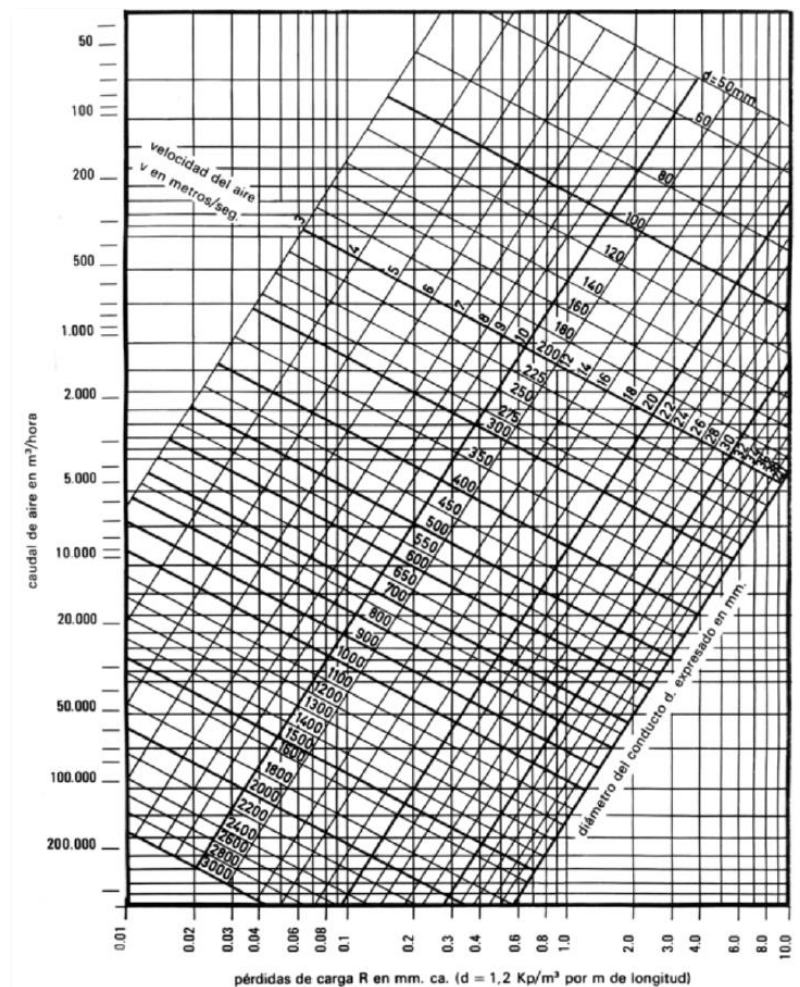


Figura 35. Ábaco de pérdida de presión en los ductos de aire. Tomada de “Catálogo Técnico”, por Salvador Escoda S.A.

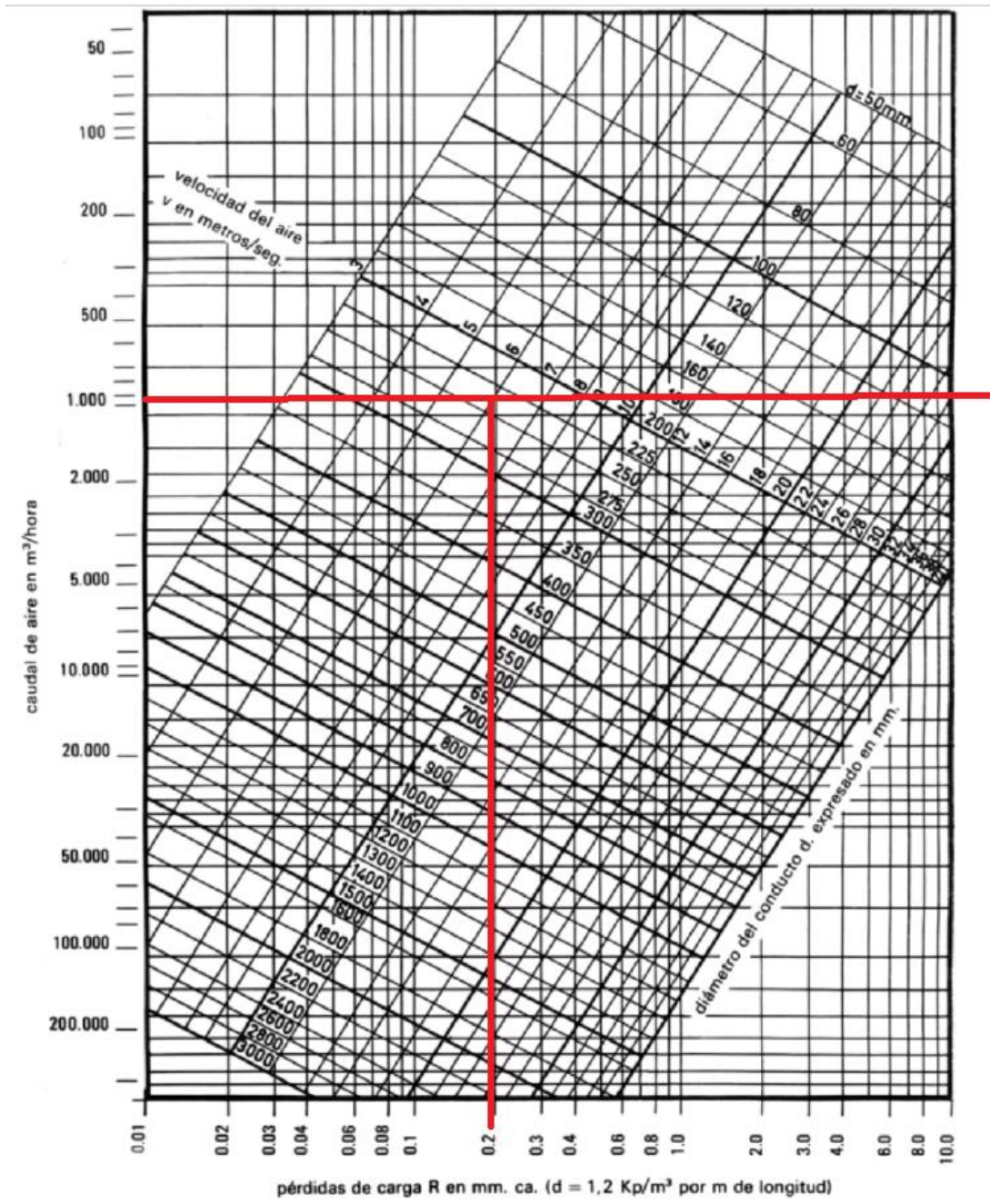


Figura 36. Pérdida de presión en los conductos de aire para el tramo A-B nivel sótano Nº 2, 3 y 4. Tomada de “Catálogo Técnico”, por Salvador Escoda S.A.

El resultado obtenido aproximadamente es de 0.19 mm c.a. por cada metro de longitud según la Figura 36. Este resultado se multiplica por la longitud (34) del tramo A-B para hallar la presión total (P_t), y resulta:

$$P_t = 0,19 \frac{\text{mm c.a.}}{\text{m}} \times 1,87 \text{ m}$$

$$P_t = 0,3553 \text{ mm c. a.} = 3,4843 \text{ Pa} = 0,0139 \text{ in c. a.} \quad (35)$$

Debido a que el ábaco de cálculo nos arroja un resultado aproximado con un margen de error a considerar que depende básicamente de la resolución de la imagen, se procede a verificar con el programa calculador DuctSizer, el mismo procedimiento, ingresando los datos (32) y (33).

En primer lugar, se selecciona las condiciones normales del aire, a 20° C (68°F) y densidad 1.2 kg/m³ (0.075 lb/ft³).

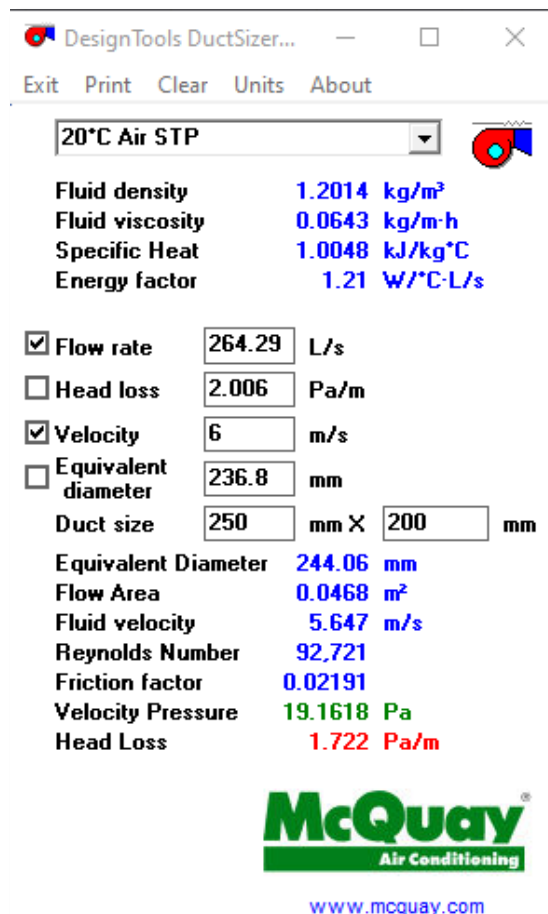


Figura 37. Cálculo de pérdida de presión con DuctSizer para tramo A-B con unidades de medida del S.I. Tomada de calculadora DuctSizer.

De la Figura 37, se visualiza los siguientes resultados:

$$P_t = 1,72 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} \times 1,87\text{m}$$

$$P_t = 3,22 \text{ Pa} \quad (36)$$

$$\text{Sección de ducto} = 250\text{mm} \times 200\text{mm} \quad (37)$$

Ahora se presenta el cálculo en el sistema inglés de medidas:

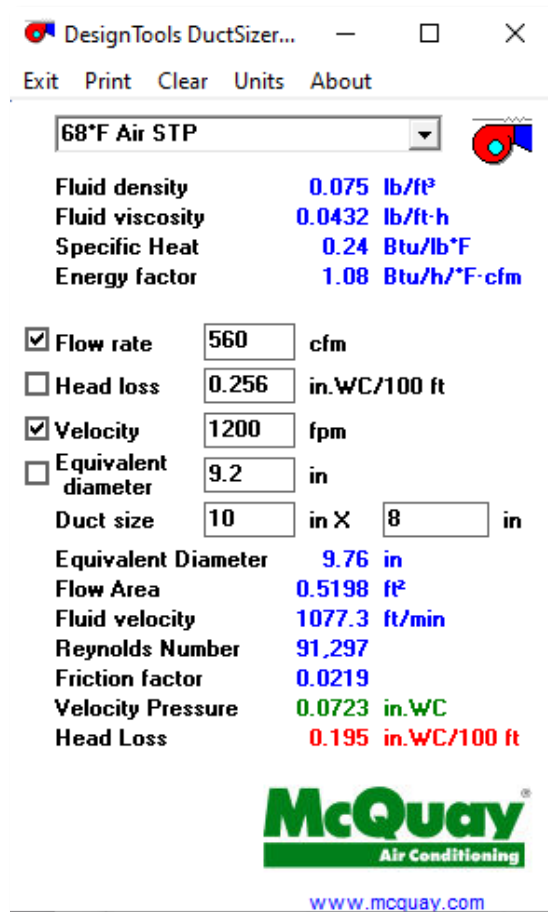


Figura 38. Cálculo de pérdida de presión con DuctSizer para tramo A-B con unidades de medida inglesa. Tomada de calculadora DuctSizer.

De la Figura 38 se visualiza los siguientes resultados:

$$P_t = 0,195 \frac{\text{in c.a.}}{100 \text{ ft}} \times 6,14 \text{ ft}$$

$$P_t = 0,0119 \text{ in c. a} \quad (38)$$

$$\text{Sección de ducto} = 10" \times 8" \quad (39)$$

De esta manera se calcula la caída de presión para cada tramo descrito en la Figura 34 y para cada nivel de estacionamiento desde el 1 al 4. A continuación, se presentan las hojas de cálculo para los niveles de estacionamiento de sótano 2, 3 y 4 puesto que vendrían a ser las plantas típicas.

Tabla 15. Cálculo de caída de presión en ductos de inyección de nivel sótano 2, 3 y 4.

Tramo	Caudal	Velocidad recomendada	Sección de ducto	Ducto		Caida de presión Ductsizer	Longitud	Longitud	Caida de presión	Factor de mampostería	Caida de presión total
	CFM	PPM	in2	A (in)	H (in)	in c.a./100 ft	m	ft	in c.a.	2	in c.a.
A-B	560	1200	67,20	10	7	0,195	1,870	6,134	0,012	-	0,012
B-C	1120	1200	134,40	12	11	0,164	2,990	9,807	0,016	-	0,016
C-M	1680	1200	201,60	16	13	0,117	1,980	6,494	0,008	-	0,008
E-M	1120	1200	134,40	12	11	0,164	1,830	6,002	0,010	-	0,010
D-E	560	1200	67,20	10	7	0,195	3,540	11,611	0,023	-	0,023
Pérdida por ducto metálico (in c.a.)											0,068

Nota: Elaborado en base a los cálculos de caída de presión en ductos. En Microsoft Excel.

A continuación, se presenta la distribución propuesta para la inyección de aire en el nivel sótano N° 1.

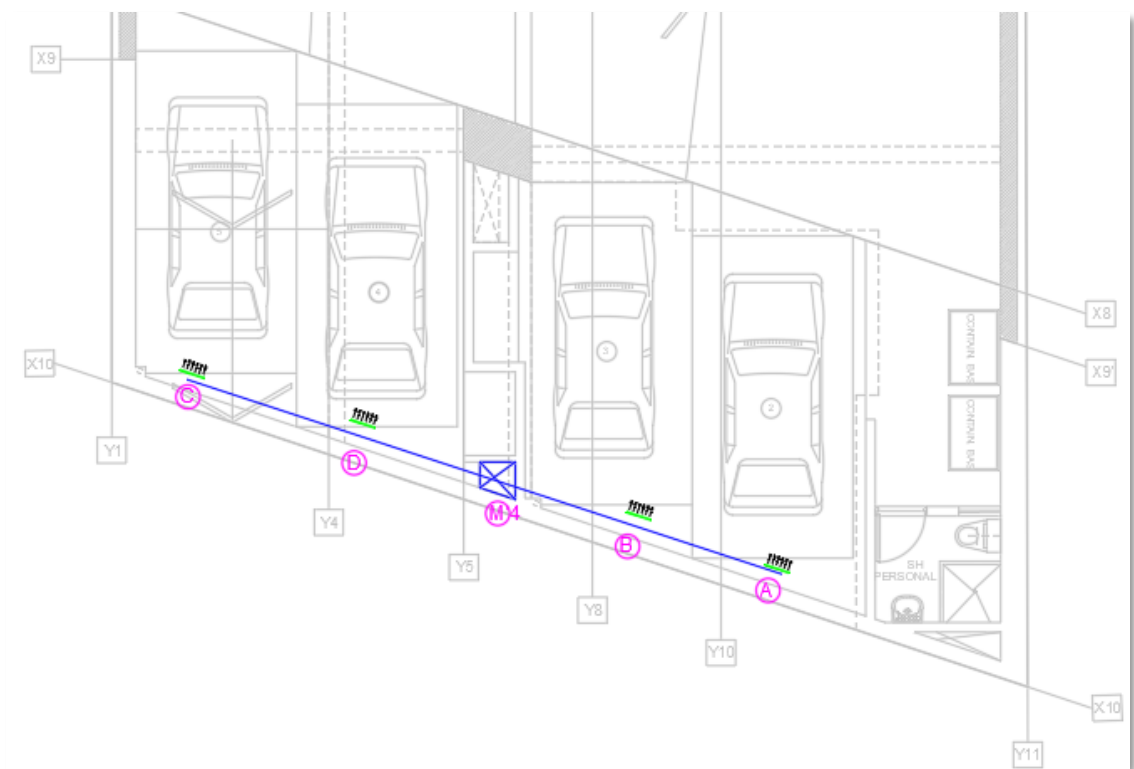


Figura 39. Recorrido de inyección nivel sótano 1. Tomada de los planos en AutoCAD.

El procedimiento de cálculo para la caída de presión se realiza de la misma manera que para el nivel típico de sótanos 2, 3 y 4; respetando la variante que ofrecen los datos de caudal, y longitud de tramo, manteniendo la velocidad igual

al resto del sistema. Los cálculos de caída de presión para cada tramo se presentan en la siguiente tabla de cálculo:

Tabla 16. *Cálculo de caída de presión en ductos de inyección de nivel sótano 1.*

Tramo	Caudal	Velocidad recomendada	Sección de ducto	Ducto		Caida de presión Ductsizer	Longitud	Longitud	Caida de presión	Factor de mampostería	Caida de presión total
	CFM	PPM	in ²	A (in)	H (in)	in c.a./100 ft	m	ft	in c.a.	2	in c.a.
A-B	650	1200	78,00	10	8	0,259	2,980	9,774	0,025	-	0,025
B-M	1300	1200	156,00	14	11	0,148	2,340	7,675	0,011	-	0,011
C-D	650	1200	78,00	10	8	0,259	3,190	10,463	0,027	-	0,027
D-M	1300	1200	156,00	14	11	0,148	2,130	6,986	0,010	-	0,010
Pérdida por ducto metálico (in c.a.)											0,074

Nota: Elaborado en base a los cálculos de caída de presión en ductos. En Microsoft Excel.

Para la distribución del sistema de extracción, se propuso utilizar un solo punto de extracción, siendo este una rejilla de extracción con capacidad para absorber 2 800 cfm o equipos axiales de extracción para apoyar a la fuerza de extracción. Estos puntos de extracción estarán en un montante de mampostería que desciende por los 4 niveles de estacionamientos, y se utiliza para evacuar los gases contaminantes hacia fuera de la edificación, Así mismo se propuso colocar dámper antirretorno para que, al funcionar uno de pisos inferiores, no descargue por la boca de succión de un piso superior.

4.7.2.2. Cálculo de la caída de presión en accesorios y rejillas

Se procedió a verificar que el caudal en las rejillas pueda pasar por una que tenga el tamaño adecuado para no superar la velocidad recomendada por el manual de Carrier, y de esta manera garantizar que no genere ruido excesivo cuando superan los 80db, por lo tanto, se seleccionará tamaños dónde que permitan que el aire pase sin ocasionar que la potencia sonora se encuentre aproximadamente en 50dB.

A continuación, se presenta la siguiente tabla de velocidades recomendadas para distintos tipos de ambientes de operación, en los que la velocidad del aire es fundamental para limitar los niveles de ruido a la salida de las rejillas y no perturbar a los ocupantes si lo requiere.

Tabla 17. *Velocidades recomendadas en bocas de salida.*

APLICACIÓN	VELOCIDAD
	(m/s)
Estudios de radiodifusión	1,5 - 2,5
Residenciales	2,5 - 4
Apartamentos	2,5 - 4
Iglesias	2,5 - 4
Dormitorios de hotel	2,5 - 4
Teatros	2,5 - 4
Oficinas particulares, tratadas acústicamente	2,5 - 4
Oficinas particulares, no tratadas	2,5 - 4
Salas de cine	5
oficinas públicas	5 - 6,5
Almacenes comerciales, plantas superiores	7,5
Almacenes comerciales, planta principal	10

Nota: Elaborada en base a “Manual de Aire Acondicionado (Handbook of Air Conditioning System Design)”, por CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. 1980, p. 2-78.

De la Tabla 17, se elige el ambiente de “almacén comercial, plantas superiores”, debido a que los estacionamientos no son ambientes de estadía de personas o ambientes de trabajo de oficina, pero a su vez, no poseen alturas muy elevadas. Por lo tanto, se va a considerar una velocidad promedio de 5m/s (990 fpm) y tomando un máximo de 7,5 m/s (1 480 fpm) a la salida de la rejilla.

Para la inyección del nivel típico sótanos 2, 3 y 4, se calculó la capacidad de las rejillas de 560 cfm, debido a que se ha distribuido el caudal (30) de 2 800 cfm en 5 rejillas de igual capacidad. Por lo tanto, de la fórmula (17), $Q = vx A$, se desprende lo siguiente, despejando el valor del área (A) de la rejilla, se tiene:

$$A = Q/v \quad (40)$$

$$A = 560CFM/990fpm$$

$$A = 0,57 \text{ ft}^2 = 82,08 \text{ in}^2 \quad (41)$$

Se recomienda empezar con una medida tentativa de 18” para la cota horizontal, por lo que la cota vertical sería de 5” Se pasa a verificar con un catálogo online de la empresa Koolair que se utiliza para seleccionar tipos y tamaños de rejillas, y nos arroja los siguientes resultados en la Tabla 18:

Tabla 18. Selección de rejilla de inyección 560 cfm.

Qo (m ³ /h)		REJILLA DE IMPULSIÓN 20-DH/DV	
m ³ /h	l/s	Tamaño	460x250 mm
952	264	Alfa	0,00
		Ak (m ²)	0,06
		Vk (m/s)	4,40
		X (m)	7,30
		ΔP (Pa)	7,80
		Lwa [dB(A)]	32,00

Nota: Elaborada en base a los datos tomados de “Tabla de selección rápida 4.0”, por Koolair. Disponible en: http://apps.koolair.com/komfortair3d/sr_menus.aspx

Como se puede apreciar de la Tabla 18, para un caudal de 952 m³/h, equivalente numérico de 560 cfm, se tiene una velocidad de 4.4 m/s y una potencia sonora acumulada de 32.0 dB, por lo que la rejilla seleccionada en las medidas de 460mmx250mm, equivalente a 18”x10” es correcta para los parámetros seleccionados.

Para el nivel sótano 1, el caudal (31) de 2 600 cfm, se ha distribuido en 4 rejillas iguales de 650 cfm como muestra la Figura 39. A continuación, se procede a verificar con el calculador online Koolair, las dimensiones de las rejillas y su potencia sonora, para comprobar que la selección se realice en base a los parámetros respetados en las rejillas de los demás sótanos.

Tabla 19. Selección de rejilla de inyección 650 cfm.

Qo (m ³ /h)		REJILLA DE IMPULSIÓN 20-DH/DV	
m ³ /h	l/s	Tamaño	600x250 mm
1105	306,9	Alfa	-30,00
		Ak (m ²)	0,08
		Vk (m/s)	3,90
		X (m)	5,90
		ΔP (Pa)	7,40
		Lwa [dB(A)]	32,40

Nota: Elaborada en base a los datos tomados de “Tabla de selección rápida 4.0”, por Koolair. Disponible en: http://apps.koolair.com/komfortair3d/sr_menus.aspx

Como se puede apreciar de la Tabla 19, para un caudal de 1 105 m³/h, equivalente numérico de 650 cfm, se tiene una velocidad de 3.9 m/s y una potencia sonora acumulada de 32.4 dB, por lo que la rejilla seleccionada en las medidas de 600mmx250mm, equivalente a 24"x10" es correcta para los parámetros seleccionados.

A continuación, se procede a mostrar el procedimiento de cálculo de los accesorios del sistema, tales como codos, desviaciones, reducciones, etc. La metodología de cálculo utilizada fue la que detalla Salvador Escoda, especialistas en HVAC, en su Catálogo Técnico.

La distribución de aire de inyección está dimensionada según los cálculos de la Tabla 15 y Tabla 16, por consiguiente, se presenta el esquema del recorrido, con las dimensiones calculadas de cada tramo.

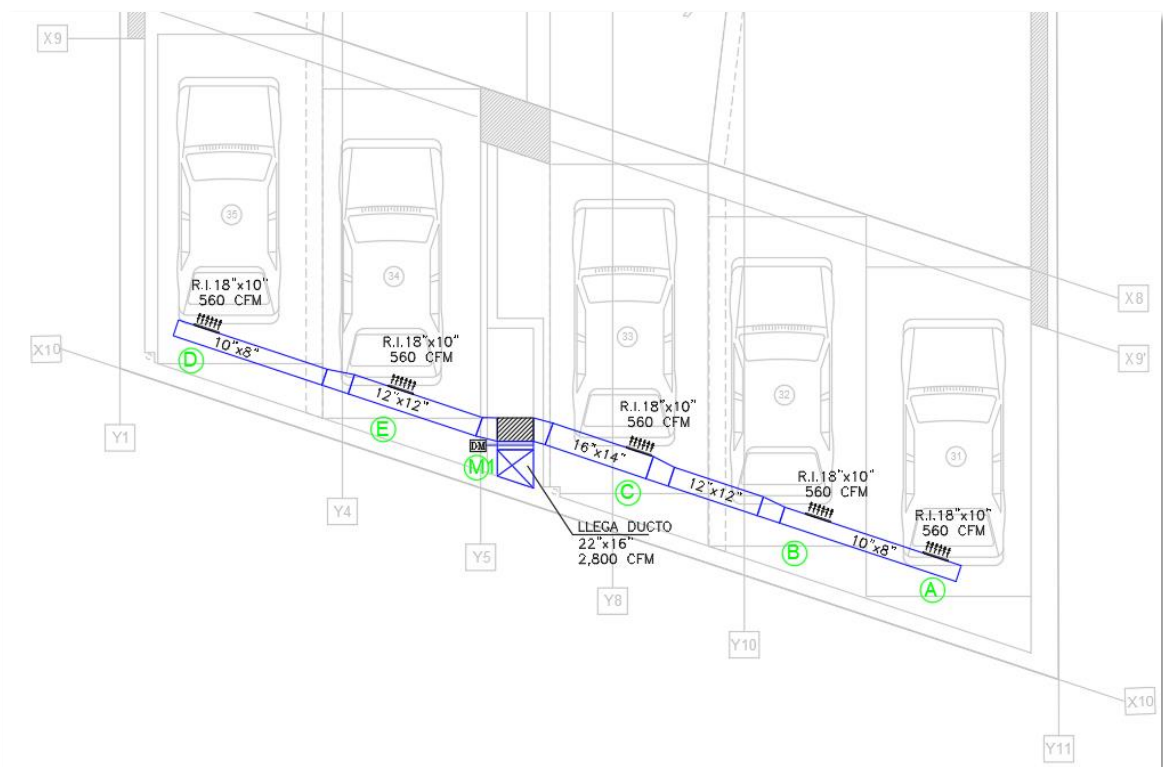


Figura 40. Distribución de aire de inyección en nivel típico Sótano 2, 3 y 4. Elaborado en AutoCAD.

Transformación. Se presenta el siguiente gráfico con el detalle de la transformación del ducto del tramo E-D:

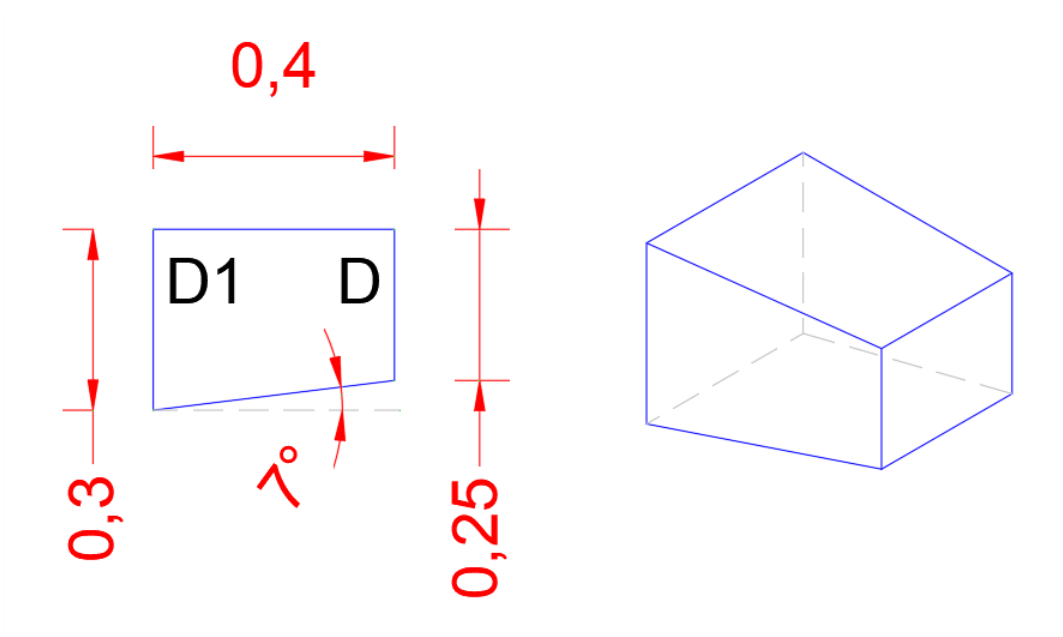


Figura 41. Detalle de accesorio de transformación de sección. Elaborado en AutoCAD.

De la Figura 41, se puede apreciar las siguientes medidas:

Reducción,

$$D_1 = 0,30 \text{ m} \quad (42)$$

$$D = 0,25 \text{ m} \quad (43)$$

$$\alpha = 7^\circ \approx 10^\circ \quad (44)$$

De los datos obtenidos, se determina la siguiente relación:

$$\text{Reducción, } D/D_1 = 0,83 \quad (45)$$

Los datos (44) vs (45), se ingresan a la siguiente gráfica para determinar el coeficiente "n" de caída de presión.

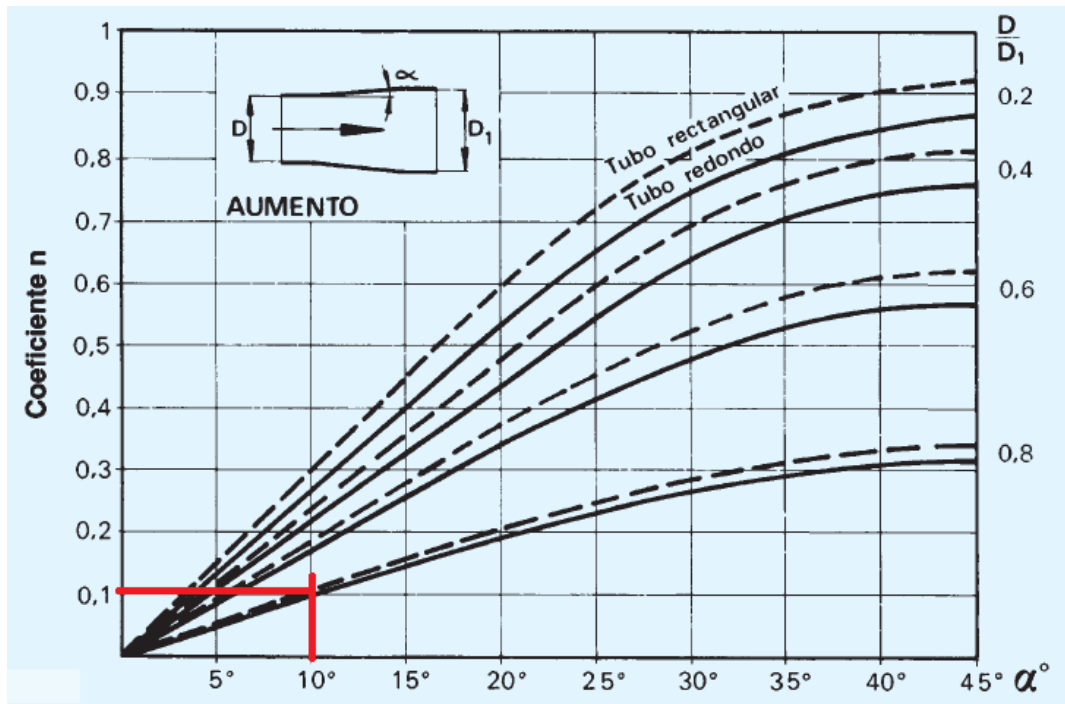


Figura 42. Gráfica de coeficiente “n” de caída de presión para cambios de sección. Tomada de “Catálogo Técnico”, por Salvador Escoda.

De la Figura 42, podemos apreciar que las líneas discontinuas representan los valores de D/D_1 para ductos rectangulares, que están un poco desfasadas con respecto a las líneas continuas que representan los valores para ductos redondos. Por lo tanto, se va a tomar los siguientes valores aproximados:

$$n \approx 0,11 \quad (46)$$

El coeficiente “n” de caída de presión es un factor asociado a las propiedades del accesorio para calcular la caída de presión total en dicho accesorio, que obedece a la fórmula de pérdidas secundarias (6) del capítulo II. De esta manera podemos hallar la caída de presión total en el codo mediante la siguiente fórmula que recomienda Salvador Escoda.

$$P_t = nxP_d \text{ (mm c. a.)} \quad (47)$$

dónde;

P_t : Presión total en el codo rectangular, mm c.a.

P_d : Presión dinámica en el codo rectangular, mm c.a.

n : Coeficiente de caída de presión.

La presión dinámica en un codo se calcula mediante la gráfica siguiente:

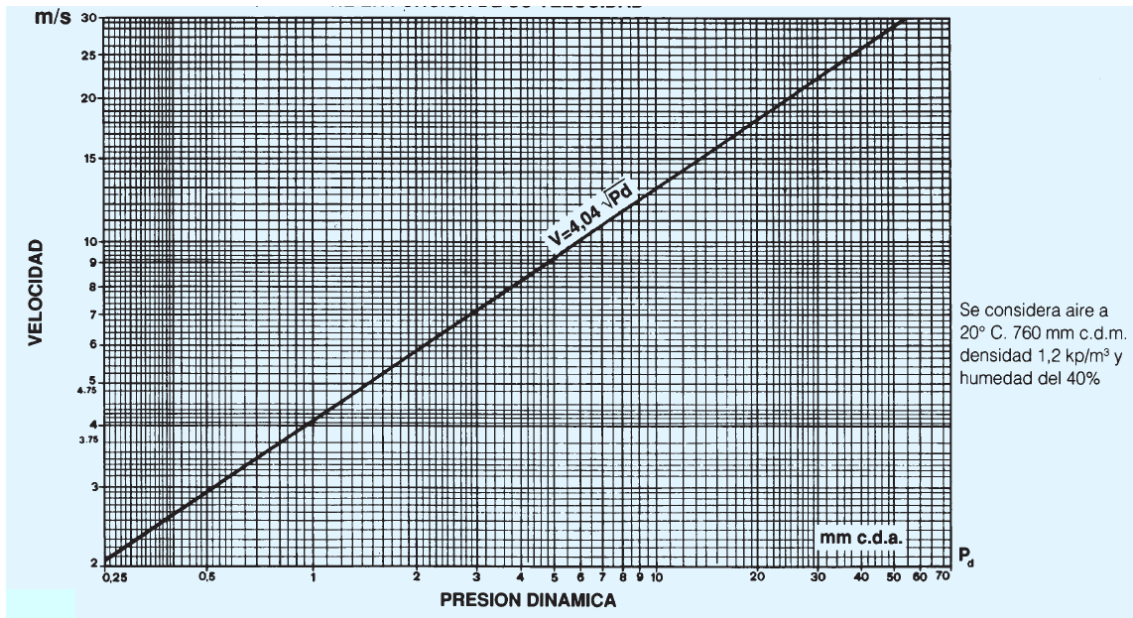


Figura 43. Gráfica de presión dinámica de aire en función de la velocidad, a condiciones normales. Tomada de “Catálogo Técnico”, por Salvador Escoda.

Como se puede apreciar en la Figura 43, para no utilizar la gráfica, la relación de presión dinámica y velocidad, se puede calcular mediante la fórmula:

$$P_d = v^2 / 4,04^2 \text{ (mm c. a.)} \quad (48)$$

dónde;

P_d : Presión dinámica en el codo rectangular, mm c.a.

v : Velocidad del flujo, m/s.

Por lo tanto, se reemplaza la velocidad (33) en la ecuación (48) y se obtiene:

$$P_d = 6^2 / 4,04^2 \text{ (mm c. a.)}$$
$$P_d = 2,21 \text{ (mm c. a.)} \quad (49)$$

La velocidad (33) corresponde a todo el sistema, por lo que se reemplaza el valor de presión dinámica P_d (49), junto con n (46) en la ecuación (47) para determinar la caída de presión total del accesorio de reducción de sección.

$$P_t = 0,11 \times 2,21 \text{ (mm c. a.)}$$

$$P_t = 0,2431 \text{ (mm c. a.)}$$

$$P_t = 0,00787 \text{ (in c. a.)} \quad (50)$$

Codo recto con directrices. En la Figura 40, se puede apreciar que en la llegada del montante de inyección hay una caja plenum, que, si bien es cierto, tiene medidas rectas, por dentro posee directrices para guiar el flujo y suavizar el impacto al ingresar al ducto de distribución. De esta manera se pretende reducir la caída de presión generada por el flujo al chocar con las paredes del conducto que ocasionen que haya un porcentaje que regrese en sentido contrario. A continuación, se muestra un esquema con el detalle de fabricación de la caja plenum y las directrices.

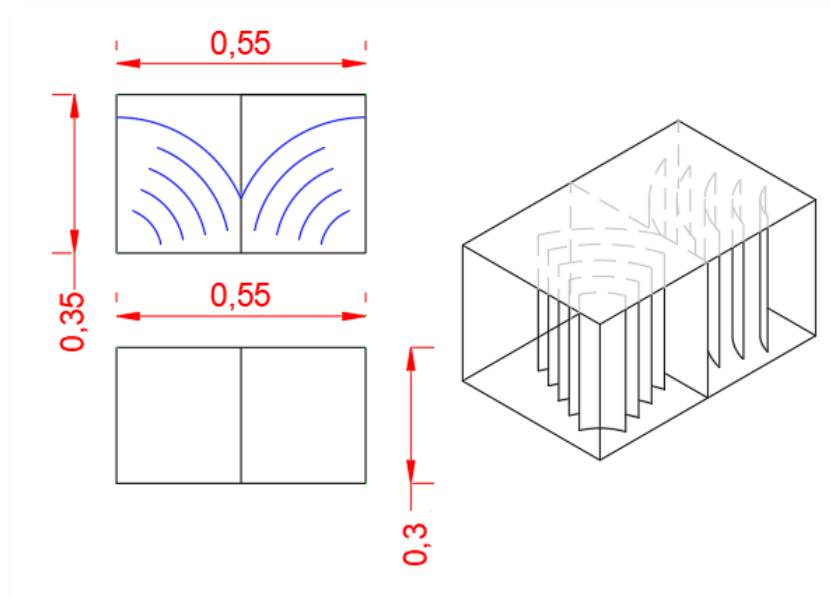


Figura 44. Detalle de caja plenum. Elaborado en AutoCAD.

Según el detalle de la Figura 44, podemos considerar a la caja plenum como 2 codos rectos con directrices, por lo tanto, según Salvador Escoda, recomienda que se asuma un valor aproximado del coeficiente “n” de caída de presión, como muestra la Figura 45:

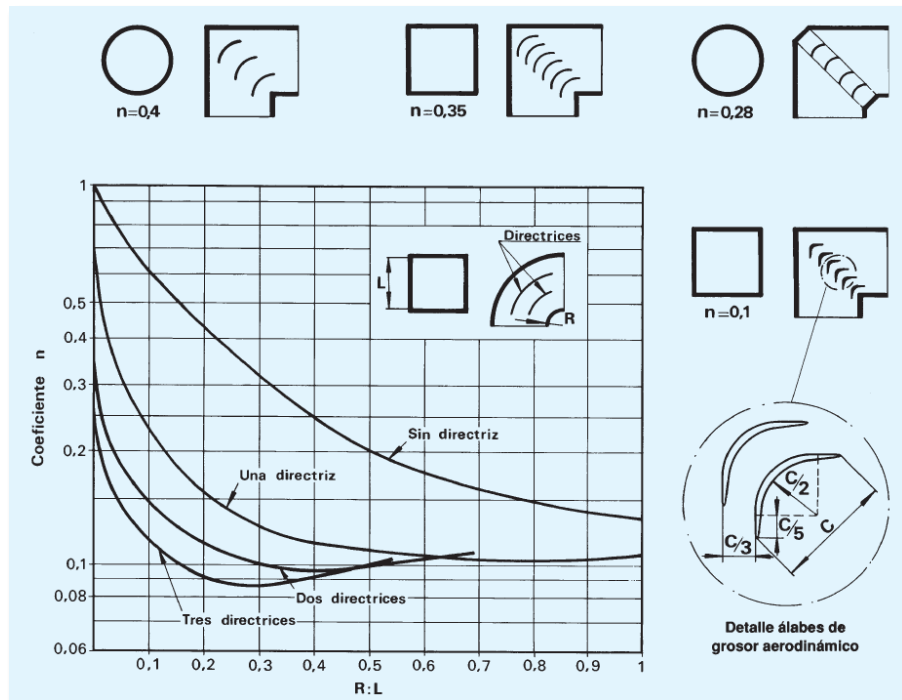


Figura 45. Coeficientes “n” de pérdidas de carga en codos rectos con directrices. Tomada de “Catálogo Técnico”, por Salvador Escoda.

Por lo tanto, el valor de “n” es:

$$n \approx 0,35 \quad (51)$$

Entonces se reemplaza los valores de “n” (51) y P_d (49) en la ecuación (47) y se obtiene:

$$P_t = 0,35 \times 2,21 \text{ (mm c. a.)}$$

$$P_t = 0,7735 \text{ (mm c. a.)}$$

$$P_t = 0,0276 \text{ (in c. a.)} \quad (52)$$

Dámper de regulación. Los dámpers de regulación, pueden ser manuales o motorizados y sirven para poder regular el ingreso del flujo dentro de un conducto. Para la investigación se seleccionó un dámper motorizado de la marca Soler & Palau, con el siguiente gráfico de caída de presión.

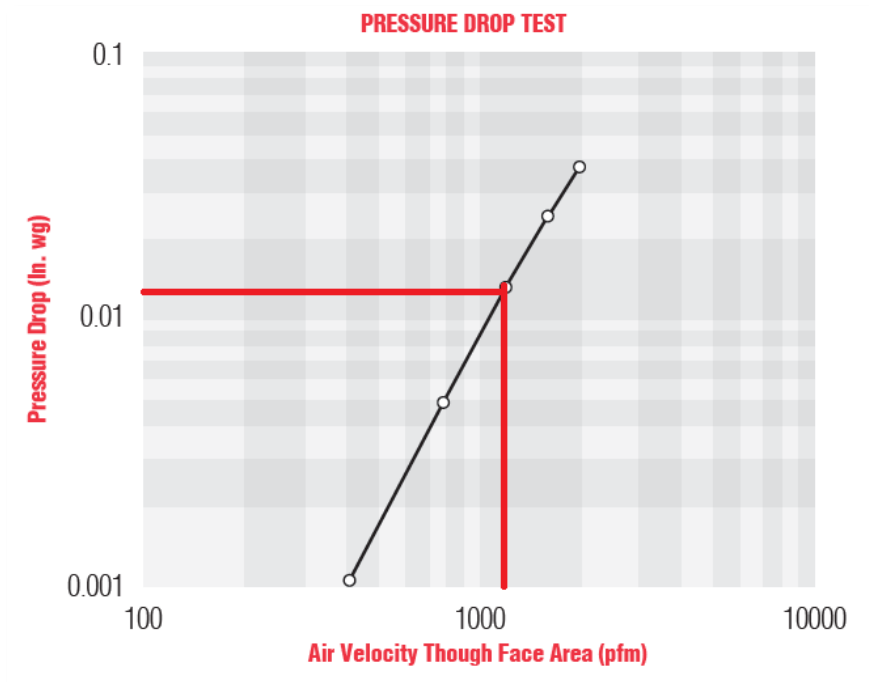


Figura 46. Gráfica de caída de presión total en dämper motorizado de aluminio. Tomada de “Catálogo de dämper de álabes de aluminio opuestas”, por Soler & Palau.

Como se puede apreciar en la Figura 46, el valor de la caída de presión total del dämper, para una velocidad de 1 200 fpm es el siguiente:

$$P_t = 0,014 \text{ (in c. a.)} \quad (53)$$

A continuación, se presentan los cálculos realizados para determinar la caída de presión del recorrido y todos los accesorios en la ruta típica de inyección de los niveles de estacionamiento sótano 2, 3 y 4.

Tabla 20. Caída de presión en ductos y compuertas en nivel sótano 2, 3 y 4.

Tramo	Caudal	Velocidad recomendada	Sección de ducto	Ducto		Caida de presión Ductsizer	Longitud	Longitud	Caida de presión	Factor de mampostería	Caida de presión total
	CFM	PPM	in2	A (in)	H (in)	in c.a./100 ft	m	ft	in c.a.	2	in c.a.
A-B	560	1200	67,20	10	7	0,195	1,870	6,134	0,012	-	0,012
B-C	1120	1200	134,40	12	11	0,164	2,990	9,807	0,016	-	0,016
C-M	1680	1200	201,60	16	13	0,117	1,980	6,494	0,008	-	0,008
E-M	1120	1200	134,40	12	11	0,164	1,830	6,002	0,010	-	0,010
D-E	560	1200	67,20	10	7	0,195	3,540	11,611	0,023	-	0,023
Pérdida por ducto metálico (in c.a.)											0,068
Pérdida por rejilla (in c.a.)											0,160
Pérdida por damper (in c.a.)											0,014
Pérdida de carga total del sistema de extracción (in c.a.)											0,242

Nota: Elaborado en base a los cálculos de caída de presión en ductos y compuertas. En Microsoft Excel

Tabla 21. Caída de presión de los accesorios en nivel sótano 2, 3 y 4.

TIPO	Velocidad recomendada	Velocidad recomendada	n	Caida de presión dinámica	Caida de presión total	Caida de presión total
	PPM	m/s		mm.c.a.	mm.c.a.	in c.a.
REDUCCIÓN 12"-10"	1200	6	0,12	2,206	0,265	0,010
CAJA PLENUM	1200	6	0,70	2,206	1,544	0,061
REDUCCIÓN 16"-12"	1200	6	0,12	2,206	0,265	0,010
REDUCCIÓN 12"-10"	1200	6	0,10	2,206	0,221	0,009
Pérdida de carga total en accesorios (in c.a.)						0,090

Nota: Elaborado en base a los cálculos de caída de presión en ductos y compuertas. En Microsoft Excel.

Se presentan los cálculos realizados para determinar la caída de presión del recorrido y todos los accesorios en la ruta de inyección del nivel de estacionamiento sótano 1.

Tabla 22. Caída de presión en ductos y compuertas en nivel sótano 1.

Tramo	Caudal	Velocidad recomendada	Sección de ducto	Ducto		Caida de presión Ductsizer	Longitud	Longitud	Caida de presión	Factor de mampostería	Caida de presión total
	CFM	PPM	in2	A (in)	H (in)	in c.a./100 ft	m	ft	in c.a.	2	in c.a.
A-B	650	1200	78,00	10	8	0,259	2,980	9,774	0,025	-	0,025
B-M	1300	1200	156,00	14	11	0,148	2,340	7,675	0,011	-	0,011
C-D	650	1200	78,00	10	8	0,259	3,190	10,463	0,027	-	0,027
D-M	1300	1200	156,00	14	11	0,148	2,130	6,986	0,010	-	0,010
Pérdida por ducto metálico (in c.a.)											0,074
Pérdida por rejilla (in c.a.)											0,110
Pérdida por damper (in c.a.)											0,014
Pérdida de carga total del sistema de extracción (in c.a.)											0,198

Nota: Elaborado en base a los cálculos de caída de presión en ductos y compuertas. En Microsoft Excel

Tabla 23. Caída de presión de los accesorios en nivel sótano 1.

TIPO	Velocidad recomendada	Velocidad recomendada	n	Caida de presión dinámica	Caida de presión total	Caida de presión total
	PPM	m/s		mm.c.a.	mm.c.a.	in c.a.
REDUCCIÓN 14"-10"	1200	6	0,15	2,206	0,331	0,013
CAJA PLENUM	1200	6	0,70	2,206	1,544	0,061
CODO 45º	1200	6	0,90	2,206	1,985	0,078
REDUCCIÓN 14"-10"	1200	6	0,15	2,206	0,331	0,013
Pérdida de carga total en accesorios (in c.a.)						0,165

Nota: Elaborado en base a los cálculos de caída de presión en ductos y compuertas. En Microsoft Excel

Para el sistema de extracción, se presenta el siguiente esquema con el dimensionamiento de ductos para la succión del montante principal que se propuso con equipos axiales de extracción. Se calcularon con el mismo procedimiento detallado anteriormente para los ductos de inyección con la calculadora Ductsizer para determinar las dimensiones de los ductos a la velocidad de 6m/s. En la Figura 47, se puede apreciar el recorrido y dimensiones del ducto de succión y descarga que pasa por el sótano 1, por lo que se presentan los cálculos de caída de presión en los accesorios:

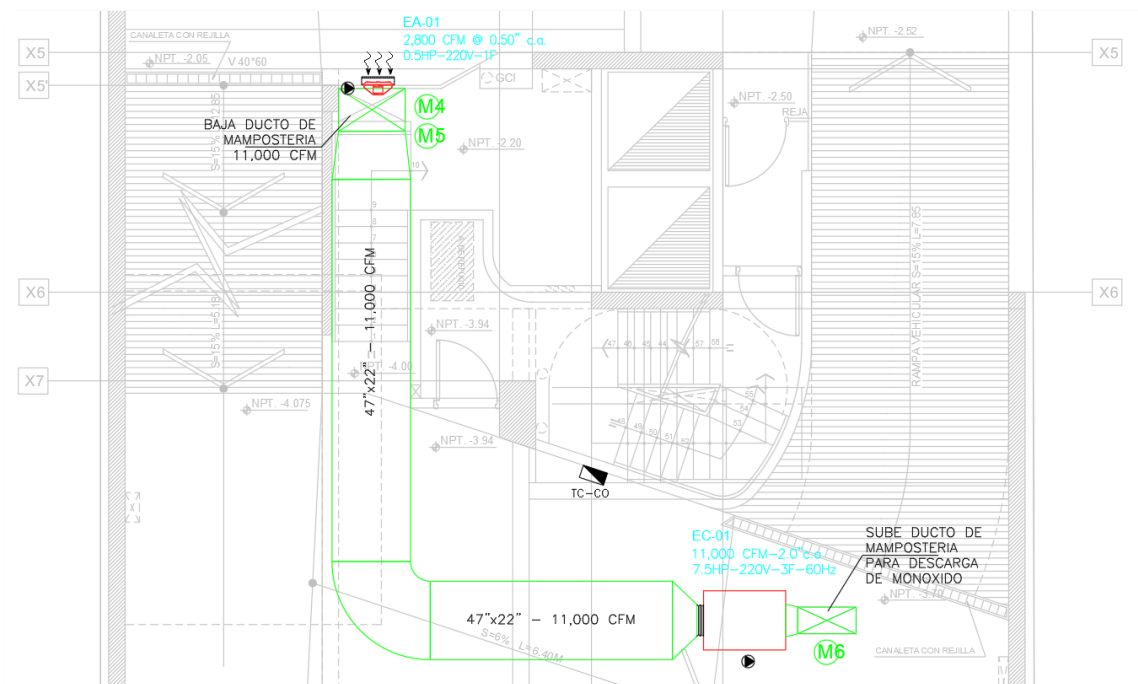


Figura 47. Ducto de succión de montante de extracción en nivel sótano 1. Elaborado en AutoCAD.

Codo rectangular. Para calcular las pérdidas en los codos, se utilizó el siguiente procedimiento tomado del manual de Salvador Escoda:

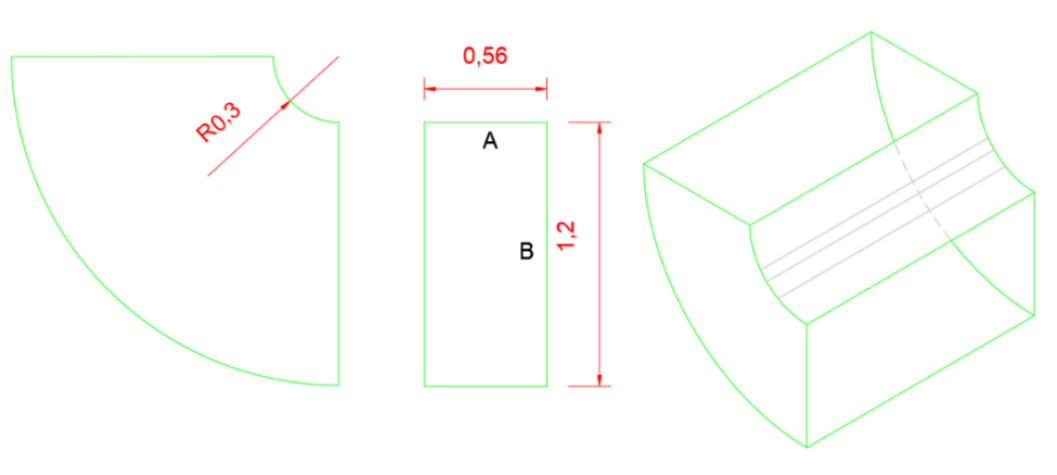


Figura 48. Detalle de codo recto. Elaborado en AutoCAD.

De la Figura 48 se puede apreciar las siguientes medidas:

$$A = 0,56 \text{ m} \quad (54)$$

$$B = 1,20 \text{ m} \quad (55)$$

$$R = 0,30 \text{ m} \quad (56)$$

dónde;

A: Altura de sección rectangular del codo.

B: Base de la sección rectangular del codo.

R: Radio interior del codo.

Con estos datos, calculamos las relaciones R/A y A/B .

$$R/A = 0,17 \quad (57)$$

$$A/B = 0,46 \quad (58)$$

Estos datos los ingresamos a la gráfica siguiente del Catálogo Técnico de Salvador Escoda.

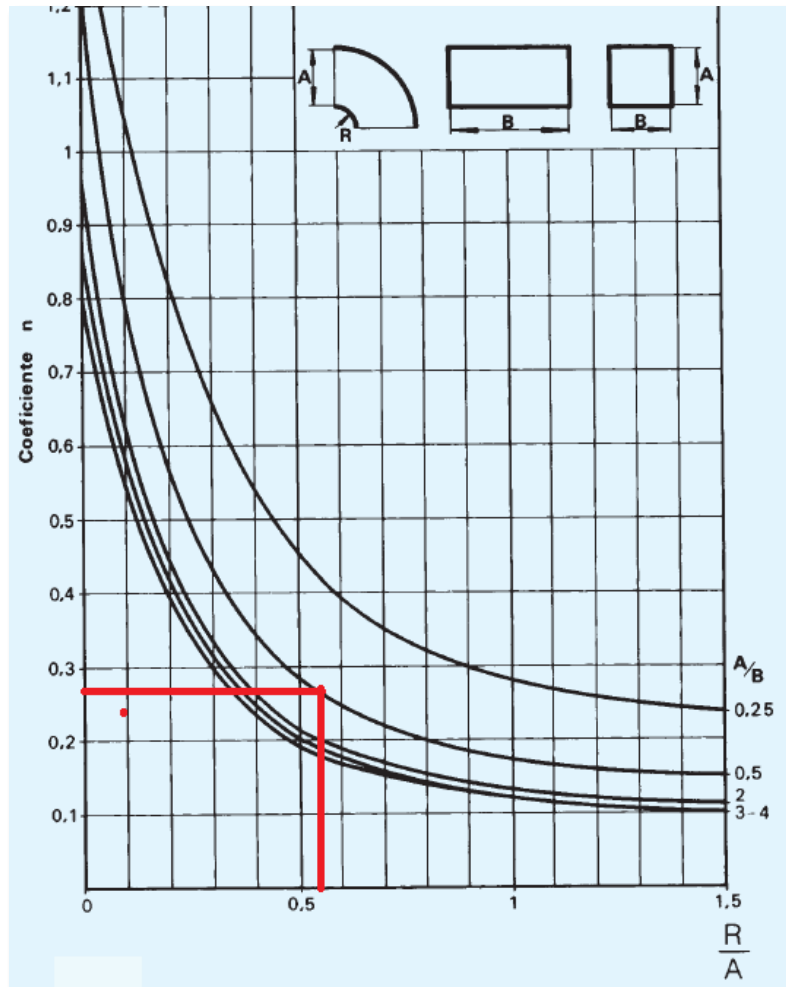


Figura 49. Coeficientes “n” de pérdidas de carga en codos rectangulares. Tomada de “Catálogo Técnico”, por Salvador Escoda.

Como se puede apreciar en la Figura 49, el valor del coeficiente “n” es:

$$n = 0,26 \quad (59)$$

Se reemplaza (59) y (49) en (47), y se obtiene:

$$P_t = 0,26 \times 2,21 \text{ (mm c. a.)}$$

$$P_t = 0,5746 \text{ (mm c. a.)}$$

$$P_t = 0,0224 \text{ (in c. a.)} \quad (60)$$

4.7.2.3. Cálculo de la caída de presión del sistema

Para este procedimiento, se comparan todas las rutas disponibles y se selecciona la de mayor caída de presión. A continuación, se presentan las rutas disponibles para el sistema de inyección.

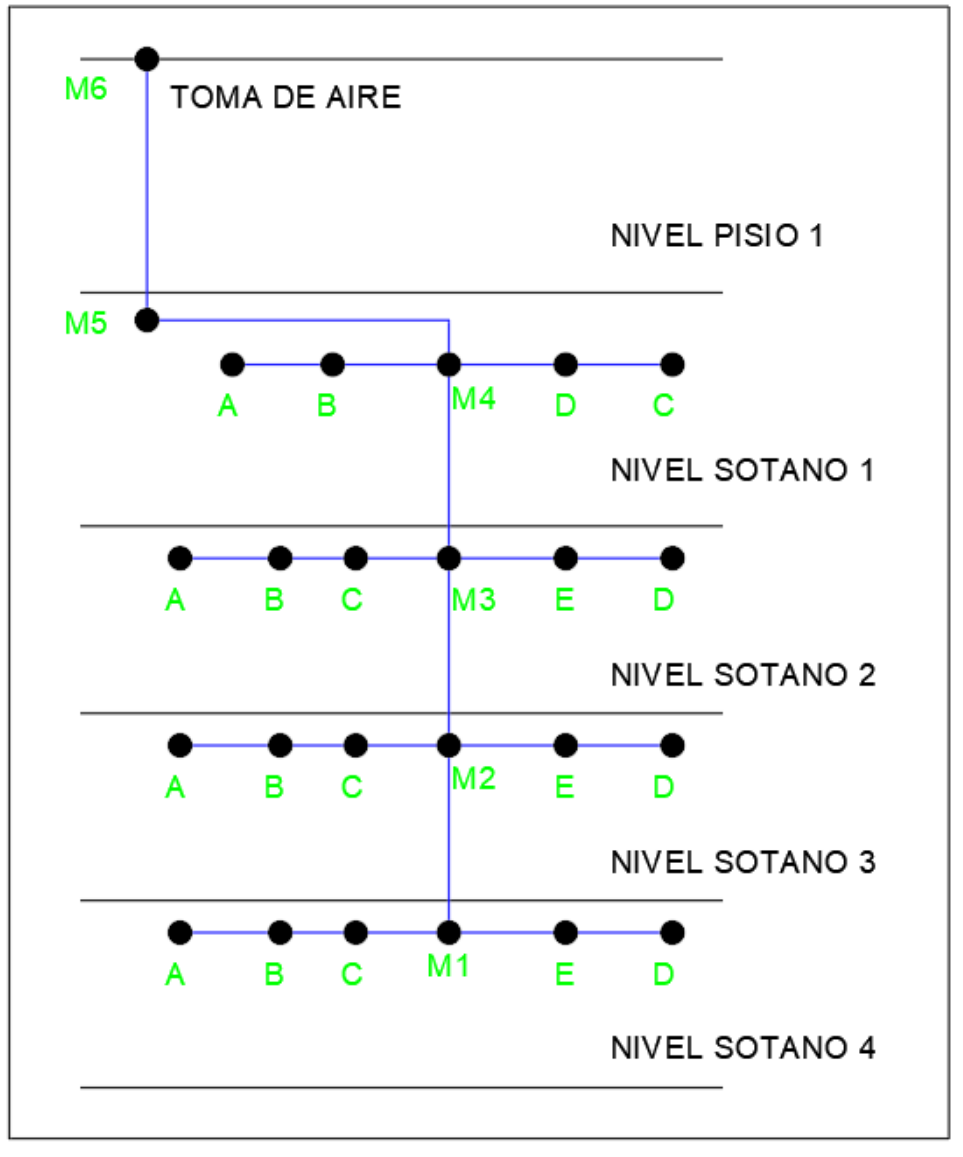


Figura 50. Esquema de principio, ruta crítica de inyección. Elaborado en AutoCAD.

Puesto que la distribución de aire es típica para los sótanos 2 al 4, la caída de presión calculada es también numéricamente igual, entonces la ruta crítica, necesariamente va a resultar siendo la más alejada al punto de toma de aire, por una simple sumatoria acumulada de caída de presión en el sistema. Por

consiguiente, se presentan los cálculos de caída de presión del montante de inyección para poder conocer la caída de presión por cada ruta.

Tabla 24. Caída de presión en ducto montante de inyección.

Tramo	Caudal	Velocidad recomendada	Sección de ducto	Ducto		Caída de presión Ductsizer	Longitud	Longitud	Caída de presión	Factor de mampostería	Caída de presión total
	CFM	PPM	in2	A (in)	H (in)	in c.a./100 ft	m	ft	in c.a.	2	in c.a.
M1-M2	2800	-	-	22	16	0,101	2,800	9,184	0,009	0,019	0,019
M2-M3	5600	-	-	22	16	0,381	2,800	9,184	0,035	0,070	0,070
M3-M4	8400	-	-	22	16	0,838	2,800	9,184	0,077	0,154	0,154
M4-M5	11000	1500	1056,00	22	33	0,225	2,230	7,314	0,016	-	0,016
M5-M6	11000	-	-	47	22	0,098	4,000	13,120	0,013	0,026	0,026
Pérdida por ducto montante (in c.a.)											0,285
Pérdida por rejilla o malla (in c.a.)											0,100
Pérdida por damper de regulación (in c.a.)											0,048
Pérdida por reducciones (in c.a.)											0,054
Pérdida de carga total del sistema de extracción (in c.a.)											0,487

Nota: Elaborado en base a los cálculos de caída de presión en montante. En Microsoft Excel.

La siguiente tabla se ha diseñado tomando en cuenta cada ruta disponible, sumando cada tramo de caída de presión que le corresponde, calculada en la Tabla 20, Tabla 21, Tabla 22 y Nota: Elaborado en base a los cálculos de caída de presión en ductos y compuertas. En Microsoft Excel

Tabla 23.

Tabla 25. Caída de presión del sistema de inyección.

Tramo	Longitud		Caída de presión total
	m	ft	in c.a.
A-M4-M6 (SOTANO 1)	13,480	44,214	0,557
C-M4-M6 (SOTANO 1)	13,480	44,214	0,419
A-M3-M4-M6 (SOTANO 2)	17,800	58,384	0,514
D-M3-M4-M6 (SOTANO 2)	16,360	53,661	0,676
A-M2-M4-M6 (SOTANO 3)	20,600	67,568	0,758
D-M2-M4-M6 (SOTANO 3)	19,130	62,746	0,746
A-M1-M4-M6 (SOTANO 4)	23,400	76,752	0,776
D-M1-M4-M6 (SOTANO 4)	21,930	71,930	0,764
Caída de presión mayor (in c.a.)			0,776
Caída de presión del sistema FS=20% (in c.a.)			0,931

Nota: Elaborado en base a los cálculos de selección de ruta crítica. En Microsoft Excel.

Por lo tanto, la caída de presión del sistema de inyección es:

$$P_t = 0,931 \text{ in c. a.} \quad (61)$$

Así mismo, se analiza el sistema de extracción, como podemos ver en la siguiente Figura 51.

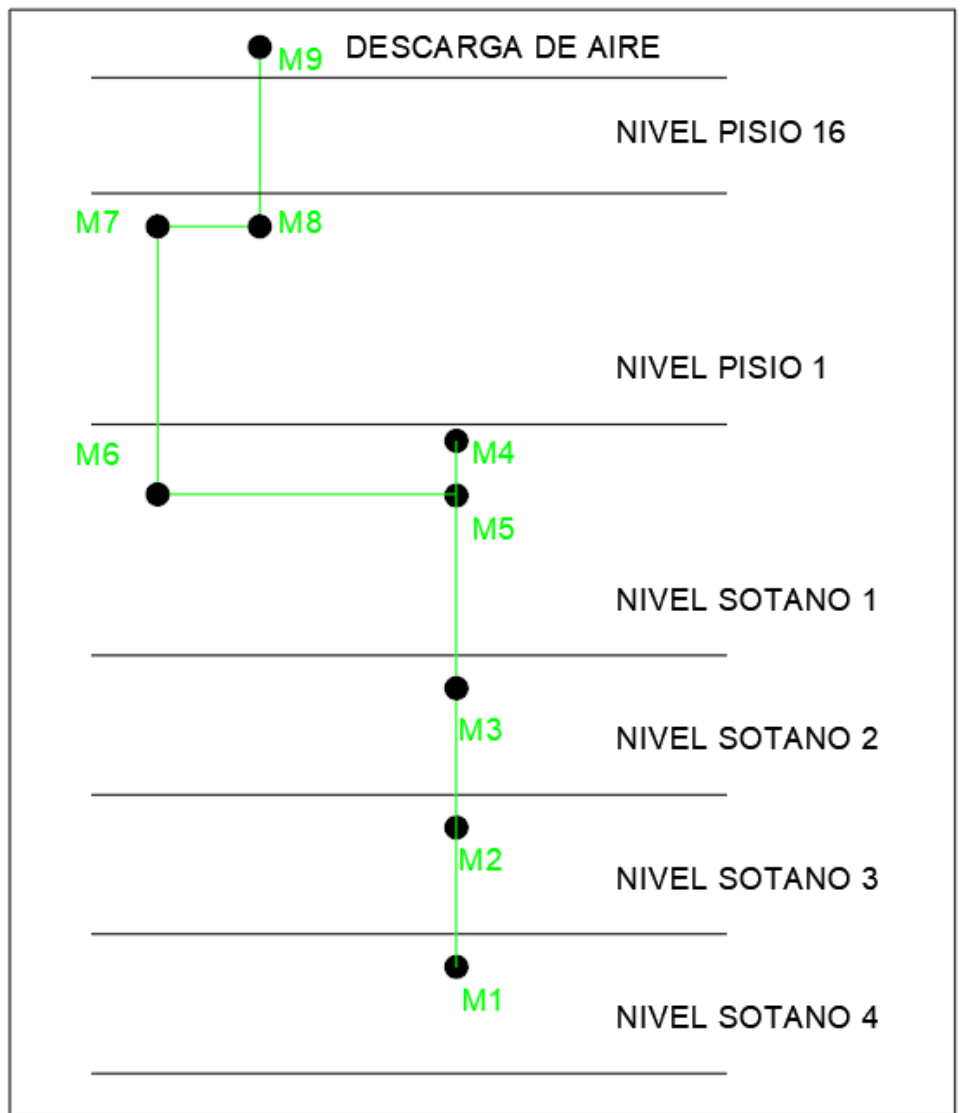


Figura 51. Esquema de principio, ruta crítica de extracción. Elaborado en AutoCAD.

Puesto que la distribución de aire es típica para los sótanos 2 al 4, la caída de presión calculada es también numéricamente igual, por lo que la ruta crítica, necesariamente va a resultar en la más alejada al punto de descarga de aire, por una simple sumatoria acumulada de caída de presión en el sistema. Por consiguiente, se presentan los cálculos de caída de presión del montante de extracción para poder conocer la caída de presión por cada ruta evaluada.

Tabla 26. *Caída de presión de ducto montante de extracción.*

Tramo	Caudal	Velocidad recomendada	Sección de ducto	Ducto		Caida de presión Ductsizer	Longitud	Longitud	Caida de presión	Factor de mampostería	Caida de presión total
	CFM	PPM	in2	A (in)	H (in)	in c.a./100 ft	m	ft	in c.a.	2	in c.a.
M1-M2	2800	-	-	47	42	0,0010	2,80	9,1840	0,0001	0,0002	0,0002
M2-M3	5600	-	-	47	42	0,0050	2,80	9,1840	0,0005	0,0009	0,0009
M3-M5	8400	-	-	47	42	0,0110	2,80	9,1840	0,0010	0,0020	0,0020
M4-M5	8400	-	-	47	26	0,0370	0,50	1,6400	0,0006	0,0012	0,0012
M5-M6	11000	1500	1056,00	47	22	0,0980	14,33	47,0024	0,0461	-	0,0461
M6-M7	11000	-	-	40	16	0,3440	4,50	14,7600	0,0508	0,1015	0,1015
M7-M8	11000	1500	1056,00	30	26	0,1830	3,60	11,8080	0,0216	-	0,0216
M8-M9	11000	-	-	32	16	0,5760	40,00	131,2000	0,7557	1,5114	1,5114
Pérdida por ducto montante (in c.a.)											1,6850
Pérdida por rejilla o malla (in c.a.)											0,0500
Pérdida por codo o desvío (in c.a.)											0,0670
Pérdida por reducciones (in c.a.)											0,1080
Pérdida de carga total del sistema de extracción (in c.a.)											1,9100

Nota: Elaborado en base a los cálculos de caída de presión en montante. En Microsoft Excel.

La siguiente tabla se ha diseñado tomando en cuenta cada ruta disponible, sumando cada tramo de caída de presión que le corresponde, calculada en la Tabla 26.

Tabla 27. *Caída de presión del sistema de extracción.*

Tramo	Longitud	Longitud	Caida de presión total
	m	ft	in c.a.
M4-M5-M9 (SOTANO 1)	82,150	269,452	1,907
M3-M5-M9 (SOTANO 2)	87,510	287,033	1,909
M2-M5-M9 (SOTANO 3)	90,310	296,217	1,910
M1-M5-M9 (SOTANO 4)	93,110	305,401	1,910
Caída de presión mayor (in c.a.)			1,910
Caída de presión del sistema FS=20% (in c.a.)			2,292

Nota: Elaborado en base a los cálculos de selección de ruta crítica. En Microsoft Excel.

Por lo tanto, la caída de presión del sistema de extracción es:

$$P_t = 2,292 \text{ in c. a.} \quad (62)$$

A continuación, se procedió a seleccionar los espesores de plancha galvanizada con el que se debe fabricar los ductos. Estos obedecen a cierto tamaño recomendado para evitar vibraciones y ruido producto del movimiento del aire.

En tal sentido, si las planchas son muy delgadas para un ducto grande con mucho caudal, ocasionará que se doblen y vibren demasiado al circular el aire. Por ende, se presenta la siguiente tabla de selección de espesores.

Tabla 28. *Construcción recomendada para conductos de chapa metálica rectangulares en sistemas de baja presión.*

DIMENSIÓN MAYOR DEL CONDUCTO (cm)	GRUESO DE LA CHAPA (mm)				CONSTRUCCIÓN RECOMENDADA (Juntas transversales, riostras y refuerzos)
	ACERO		ALUMINIO		
	Conducto	Grapa	Conducto	Grapa	
Hasta 60	0,6	0,8	0,6	0,8	Grapa deslizante o grapa en S, separado 2,5 m o menos.
de 60 a 80	0,6	0,6	0,6	0,8	Grapa deslizante o grapa en S, separado 1,2 m o menos.
de 80 a 150	0,8	0,8	0,8	1	
de 150 a 180	1	1	1	1,5	Grapa deslizante reforzada o grapa a escuadra reforzada, separado 1,2 m o menos. Refuerzo de perfil angular en diagonal 40x40x4mm o zuncho angular de las mismas dimensiones situada a mitad de distancia entre juntas.

Nota: Adaptada en base a datos de “Manual de Aire Acondicionado (Handbook of Air Conditioning System Design)”, por CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. 1980, p. 2-65.

De las tablas de cálculo de secciones de ducto, expuestas líneas arriba, se puede apreciar que la sección de ducto metálico de mayor tamaño está en el tramo M5-M6 en el sótano 1, con una dimensión mayor de 47” que aproximadamente es 120 cm. Por lo tanto, de la Tabla 28, se selecciona el espesor adecuado de 0,6 mm para planchas de acero galvanizado más pequeñas del sistema de inyección con grapas de 0,8 mm, y para los ductos del montante de extracción se selecciona el espesor de 0,8 mm para el ducto con grapas de 0,8 mm, puesto que el F⁰G⁰ es el material comercial más utilizado para sistemas de ventilación.

4.7.3. Selección de equipos de ventilación mecánica

4.7.3.1. Cálculo del número de jetfan

Se calculó tomando como base el procedimiento de cálculo según los especialistas en ventilación de la marca *Soler & Palau*, en su memoria de cálculo para número de jetfan.

Paso 1. Cálculo de la velocidad inducida (v_i) de impulsión del jetfan. Se tiene el siguiente dato de cantidad de renovaciones de aire por hora, del RNE:

$$\text{Renovaciones}(R) = 5 \text{ renov./h .}$$

$$\text{Renovaciones}(R) = 0,0014 \text{ renov./s} \quad (63)$$

$$v_i = L_m \times R \quad (64)$$

donde,

L_m : Longitud media del recorrido del aire (Distancia entre la entrada y la salida del aire. De preferencia, tomar la más crítica), (m).

R : Renovaciones de aire por segundo (ren/s)

Para L_m vamos a considerar la distancia entre la rejilla de inyección en el punto "D" (Ver Figura 40) y el punto de extracción en el unto "M" (Ver Figura 52). La distancia medida en el plano es de:

$$L_m = 65m \quad (65)$$

Por lo tanto, reemplazando (63) y (65) en (64), se tiene:

$$v_i = 65 \times 0,0014$$

$$v_i = 0,091 \text{ m/s} \quad (66)$$

Paso 2. Cálculo de la fuerza de empuje del jetfan (F).

Para realizar el cálculo, es necesario empezar seleccionado un equipo disponible en catálogo, y de esta manera obtener sus datos de fabricación. Se puede ver en la Figura 52 que, debido a la disposición de la arquitectura, es muy probable que se necesite 2 equipos jetfan; el primero para dirigir el aire que sale de la zona de inyección, dirigirlo a través de la rampa hacia la zona de extracción, y un segundo jetfan que redireccione el aire hacia el punto de succión. Por lo tanto, al considerar 2 equipos, se va a tener que dividir el caudal de 2 800 cfm en 2 equipos de igual caudal que sumen el total, como mínimo. A continuación, se presenta el plano preliminar con las ubicaciones de equipos del sistema de extracción, y la distribución de aire de inyección para el nivel sótano 4, que, al ser típico, se diferencia de los demás niveles, por la distancia de recorrido de los montantes de extracción e inyección.

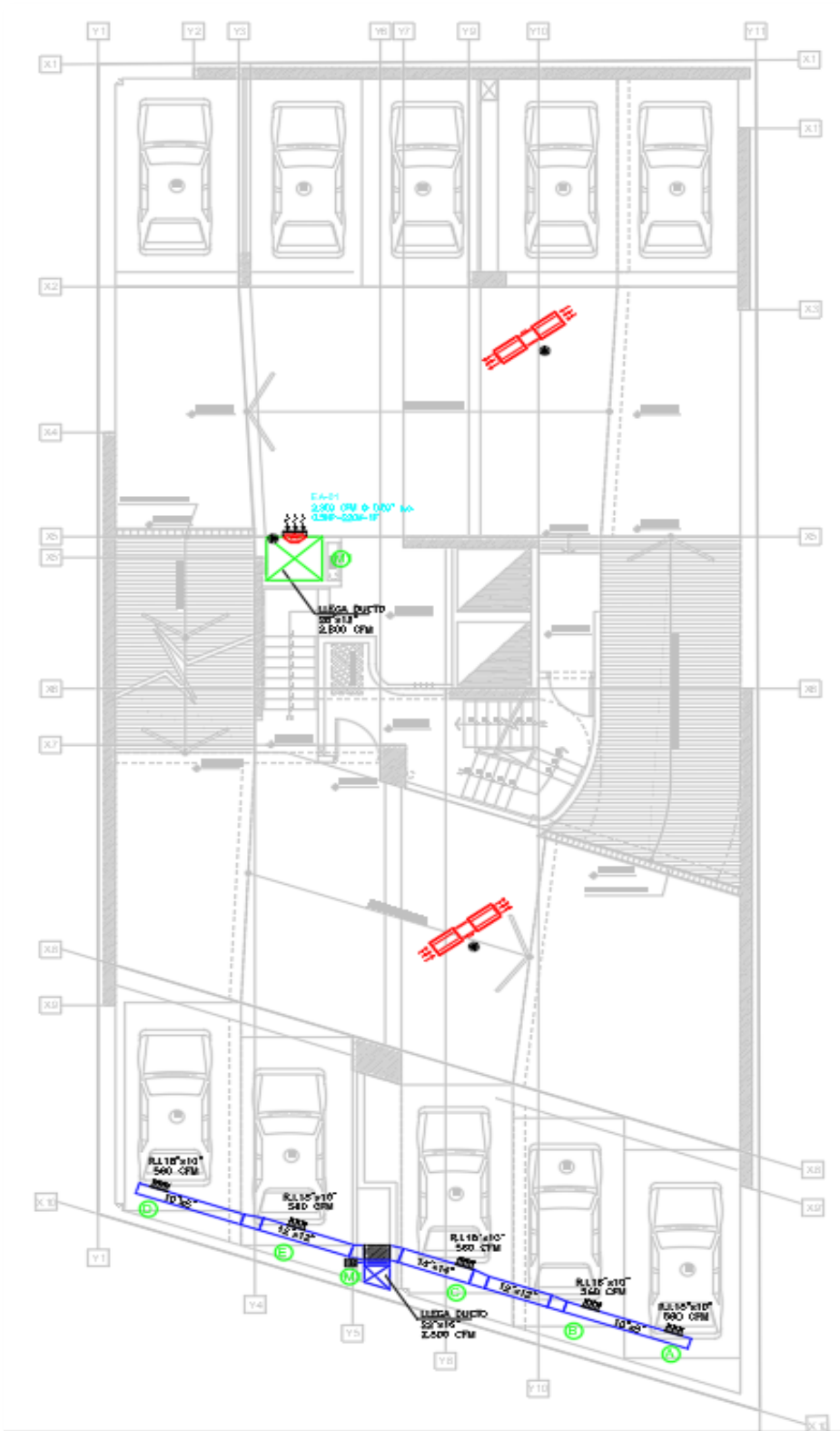


Figura 52. Planta típica de disposición de equipos jetfan. Elaborado en AutoCAD.

Para seleccionar un modelo de equipo jetfan, se utilizó la herramienta de selección Quickfan de la empresa Sodeca que es de descarga libre.

+/- Modelo	Velocidad (rpm)	Tensión	Hz/fases	Intensidad máx. admisible (A)	Potencia (kW) [**]	Impulso (N)	Velocidad salida aire (m/s)	Altura equipo (mm)	Nivel potencia sonora dB (A) [**]	Peso aprox. (kg)
MODELOS ESTÁNDAR (7 MODELOS)										
<input checked="" type="radio"/> CI-CO LP/EC	2420	230 V	50/1	1,84	0,23	13	15	145		20
<input checked="" type="radio"/> CI-CO LP/AC 110V	2620	120V	60/1	4,1	0,46	13	16	145		20
<input checked="" type="radio"/> CI-CO LP/AC 220V	2600	220 V	50/1	2,14	0,49	11	14	145		20
<input checked="" type="radio"/> HCT/IMP-L-REV-35-4T-0.12 6...	1584	380-480 V Y	60/3	0,38	0,09	9	8,8		59	76
<input checked="" type="radio"/> HCT/IMP-LS-REV-35-4T-0.12...	1584	380-480 V Y	60/3	0,38	0,09	9	8,8		61	62
<input checked="" type="radio"/> HCT/IMP-LS-UNI-35-4T-0.12...	1584	380-480 V Y	60/3	0,38	0,09	10	9,3		60	45
<input checked="" type="radio"/> HCT/IMP-L-UNI-35-4T-0.12 6...	1584	380-480 V Y	60/3	0,38	0,09	10	9,3		58	59

Figura 53. Modelos de equipo jetfan disponibles con un caudal mínimo de operación de 1 400 cfm. Tomado de selector virtual Quickfan, disponible en:

<https://www.sodeca.com/es/software>.

Se ve en la Figura 53, que los equipos disponibles, cumplen con ciertos parámetros para ser considerados, por lo que se van a comparar entre sí, asignándole valores a cada variable, en la siguiente tabla.

Tabla 29. Variables de selección de equipo jetfan.

MODELOS DISPONIBLES	VARIABLES DE SELECCIÓN			
	TENSION (V)	FRECUENCIA (Hz)	CAUDAL (cfm)	ALTURA (m)
CI-CO-LP/EC	220	50	1637	15
CI-CO-LP/AC 110V	110	60	1689	15
CI-CO-LP/AC 220V	220	50	1483	15
HCT/IMP-L-REV-35-4T	220	60	1795	39
HCT/IMP-LS-REV-35-4T	220	60	1795	39
HCT/IMP-LS-UNI-35-4T	220	60	1889	39
HCT/IMP-L-UNI-35-4T	220	60	1889	39

Nota: Elaborada en base a los datos de catálogo del selector QuickFan, por Sodeca.

A continuación, se presentan los valores asignados a cada parámetro de selección, siendo los de más relevancia, las características eléctricas, puesto que los motores de estos equipos vienen incorporados en transmisión directa desde fábrica, y no hay disponibilidad de aplicar cambios de motor, en el caso operen con otra tensión y frecuencia distinta a la del proyecto: 220V, 60Hz.

Tabla 30. Resultados de los valores asignados a las variables de selección de equipo jetfan.

MODELOS DISPONIBLES	VARIABLES DE SELECCIÓN				RESULTADOS
	TENSION (V)	FRECUENCIA (Hz)	CAUDAL (cfm)	ALTURA (m)	
CI-CO-LP/EC	4	0	2	1	7
CI-CO-LP/AC 110V	0	3	2	1	6
CI-CO-LP/AC 220V	4	0	2	1	7
HCT/IMP-L-REV-35-4T	4	3	2	1	10
HCT/IMP-LS-REV-35-4T	4	3	2	1	10
HCT/IMP-LS-UNI-35-4T	4	3	2	1	10
HCT/IMP-L-UNI-35-4T	4	3	2	1	10

Nota: Elaborada en base a los datos de catálogo del selector QuicFan, por Sodeca.

Como se aprecia en la Tabla 30, se le asignó un valor de relevancia correlativos ascendentes a cada variable (tensión, frecuencia, caudal, altura) y un valor lógico de cumplimiento a los puntos principales de tensión y frecuencia, así mismo a los que cumplan con el caudal mínimo. Por último, de ponderan los resultados y se aprecia que los equipos HCT/IMP, que son los equipos jetfan tubulares, rinden en el punto de operación del motor eléctrico, y por lo tanto hay que elegir la mejor opción en base a otro criterio. Este criterio sería la condición del equipo, si es de motor y ventilador reversible o unidireccional, para conveniencia de la investigación, se va a considerar equipos unidireccionales, porque no es necesario la reversibilidad del giro, por lo que las posiciones y el recorrido del flujo es en una sola dirección.

De esta manera, el equipo seleccionado fue HCT/IMP-LS-UNI-35-4T, posteriormente se procedió a realizar el cálculo para sustentar la cantidad de equipos necesarios para determinado caudal, utilizando el procedimiento descrito en la memoria de cálculo de la compañía Soler&Palau (Ver **ANEXO 2**).

Las características del equipo seleccionado se detallan en las siguientes Figuras:

DARDO CARACTERÍSTICO Y ACÚSTICA A 20°C 0MSNM 1,2KG/M³

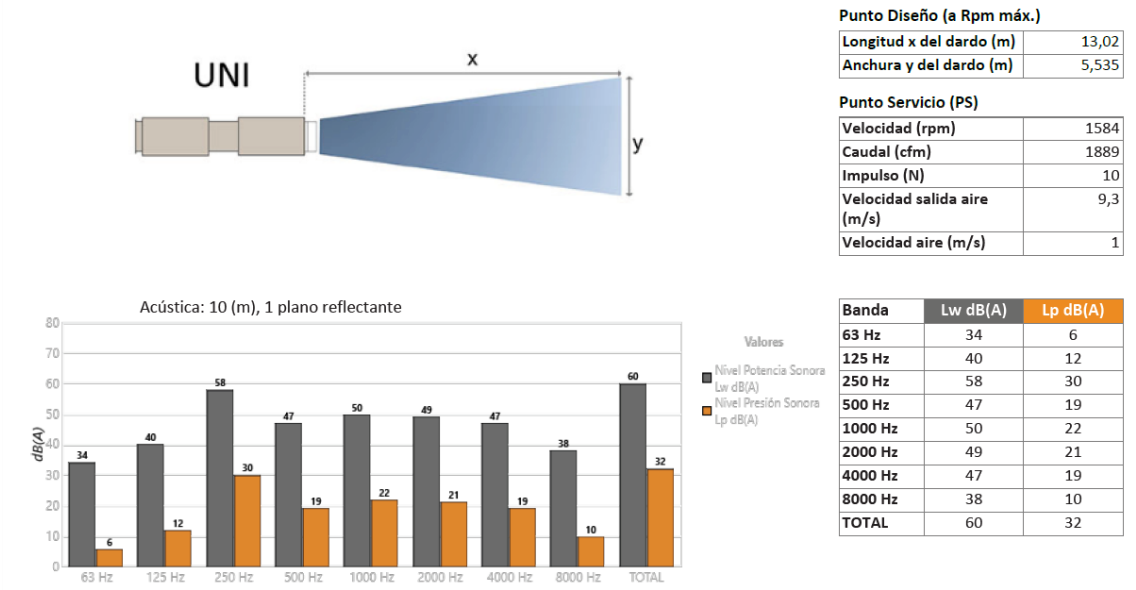
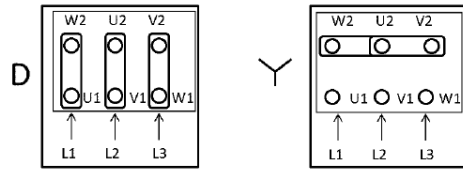


Figura 54. Datos mecánicos de ficha técnica de equipo jetfan HCT/IMP-LS-UNI-35-4T. Tomado de selector Quickfan de Sodeca.

DATOS DEL MOTOR

Potencia Mecánica Nominal (kW)	0,09
Hz/fases	60/3
Motor (rpm)	1584
Polos	4P
Corriente máx. (A) 380-480 V Y	0,38
Corriente máx. (A) 220-277 V D	0,65
Protección del motor	IP55
Tamaño del bastidor del motor	56



Los datos pueden cambiar, por favor consulte la placa del motor

DIMENSIONES

A	B	C	ød	E	L	X	X1	Z	Z1
383	386	523	12x26	1410	1200	400	167	614	644

Las dimensiones sin unidades definidas explícitamente se muestran en milímetros (mm). Dimensiones dependientes del motor son aproximadas

Peso aprox. (kg)	45
------------------	----

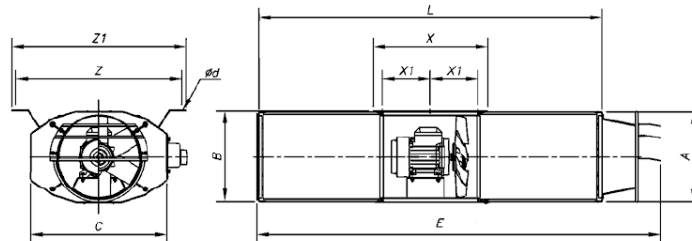


Figura 55. Datos eléctricos de ficha técnica de equipo jetfan HCT/IMP-LS-UNI-35-4T. Tomado de selector Quickfan de Sodeca.

El equipo seleccionado para el cálculo es HCT/IMP-LS-UNI-35-4T-0.12 60HZ, de la Figura 54 y Figura 55, se puede apreciar que el caudal de operación máximo con el que trabaja el equipo es de 1 889 cfm. Se toman los siguientes datos:

$$Q_{eq.} = 1\,400\text{ cfm} = 0,6607\text{ m}^3/\text{s} \quad (67)$$

$$D_{eq.} = 0,39\text{ m} \quad (68)$$

dónde;

$Q_{eq.}$: Caudal de diseño del equipo jetfan, m^3/s .

$D_{eq.}$: Diámetro del rodete del equipo jetfan. m.

A continuación, se presenta la siguiente fórmula que define la fuerza de empuje o impulso que el equipo otorga al aire dentro del recinto.

$$F = \frac{4}{\pi} \rho x \left(\frac{Q_{eq.}}{D_{eq.}} \right)^2, N \quad (69)$$

dónde;

ρ : Densidad del aire a condiciones normales (20°C), $1,2\text{ kg}/\text{m}^3$.

Se reemplaza los valores (67) y (68) en la ecuación (69):

$$F = \frac{4}{\pi} x 1,2 x \left(\frac{0,66}{0,39} \right)^2$$

$$F = 4,38\text{ N} \quad (70)$$

Paso 3. Se calcula el área de ventilación, que es el campo de acción del jetfan; y se define mediante la siguiente fórmula:

$$S_{pn} = \frac{F}{0,52 x \rho x v_i^2} (\text{m}^2) \quad (71)$$

Por lo tanto, se reemplaza (70) y (66) en la ecuación (71).

$$S_{pn} = \frac{4,38}{0,52 x 1,2 x 0,091^2} (\text{m}^2)$$

$$S_{pn} = 847,63\text{ m}^2 \quad (72)$$

Paso 4. Se calcula el tamaño del dardo de tiro (L_d) que impulsa el jetfan al aire. Y se define con la siguiente fórmula:

$$L_d = 5x \frac{v_0}{v_i} x D_{eq}. (m) \quad (73)$$

dónde;

v_0 : Velocidad de salida del aire en el jetfan, m/s.

Para el equipo seleccionado, según la Figura 54, la velocidad de salida es:

$$v_0 = \frac{Q_{eq}}{S_j} \quad (74)$$

dónde;

S_j : Sección de ventilador del equipo seleccionado.

Cálculo de S_j .

$$S_j = \frac{\pi}{4} x D_{eq}^2 \quad (75)$$

$$S_j = \frac{\pi}{4} x 0,39^2$$

$$S_j = 0,1195 m^2 \quad (76)$$

Reemplazamos (67) y (76) en la ecuación (74):

$$v_0 = \frac{0,6607}{0,1195}$$

$$v_0 = 5,53 m/s \quad (77)$$

En la ecuación (73) se reemplazan los valores de (77), (66) y (68) y se obtiene:

$$L_d = 5x \frac{5,53}{0,091} x 0,39 (m)$$

$$L_d = 118,5 m \quad (78)$$

Paso 5. Se calcula el número mínimo de jetfan, evaluando el área total del estacionamiento típico que muestra la Tabla 8, y el área de acción del jetfan calculado en el Paso 3.

$$N_{mín} = \frac{A_t}{S_{p_n}} \quad (79)$$

dónde;

$N_{mín}$: Número mínimo de jetfans a considerar en el diseño.

A_t : Área total del estacionamiento, m².

De la Tabla 8, se tiene:

$$A_t = 364,97 \text{ m}^2 \quad (80)$$

Reemplazando (80) y (72) en la ecuación (79), se tiene:

$$N_{mín} = \frac{364,97}{847,63}$$

$$N_{mín} = 0,43 \approx 1 \text{ jetfan} \quad (81)$$

A continuación, se presentan los cálculos justificativos de los números de jetfan para los niveles de estacionamientos típico sótano 2,3 y 4 y el nivel sótano 1.

01-CÁLCULO DE VELOCIDAD INDUCIDA (Vi)	
Longitud media entre inyección y extracción (Lm):	65,00 m
$Vi = Ren/s \times Lm$	Vi= 0,0903 m/s
02-SELECCIÓN DE JET FAN	
Modelo seleccionado:	TCP HCT/IMP-L-UNI-35-4T-0.12
Caudal de jet fan (Qj):	2 379 m ³ /h 0,66 m ³ /s
Diámetro de equipo (Dj):	390 mm 0,39 m
03-CÁLCULO DE FUERZA DE EMPUJE (F)	
$F = \frac{4}{\pi} \times \rho \times \left(\frac{Q_j}{D_j}\right)^2$	F. calculada= 4,39 N
04-CÁLCULO DE SUPERFICIE DE VENTILACIÓN (Spn)	
Sección transversal del Jet Fan (Sj):	0,1195 m ²
Velocidad de salida del Jet Fan (Vo):	5,53 m/s
$Spn = \frac{F}{0.52 \times \rho \times Vi^2}$	Spn= 861,81 m ²
05-CÁLCULO DEL DARDO DE TIRO (Ld)	
$Ld = 5 \times \frac{Vo}{Vi} \times \phi$	Ld= 119,44 m
06-CÁLCULO DE NÚMERO MÍNIMO DE JET FANS	
$N^{\circ} mín = At/Spn$	N ^o mín= 1 JET FAN

Figura 56. Cálculo de número de jetfan para nivel típico sótano 2, 3 y 4. Elaborado en Microsoft Excel.

01-CÁLCULO DE VELOCIDAD INDUCIDA (Vi)	
Longitud media entre inyección y extracción (Lm):	65,00 m
$Vi = Ren/s \times Lm$	Vi= 0,0999 m/s
02-SELECCIÓN DE JET FAN	
Modelo seleccionado:	TCP HCT/IMP-L-UNI-35-4T-0.12
Caudal de jet fan (Qj):	2 209 m ³ /h 0,61 m ³ /s
Diámetro de equipo (Dj):	390 mm 0,39 m
03-CÁLCULO DE FUERZA DE EMPUJE (F)	
$F = \frac{4}{\pi} \times \rho \times \left(\frac{Qj}{Dj}\right)^2$	F. calculada= 3,78 N
04-CÁLCULO DE SUPERFICIE DE VENTILACIÓN (Spn)	
Sección transversal del Jet Fan (Sj):	0,1195 m ²
Velocidad de salida del Jet Fan (Vo):	5,14 m/s
$Spn = \frac{F}{0.52 \times \rho \times Vi^2}$	Spn= 606,70 m ²
05-CÁLCULO DEL DARDO DE TIRO (Ld)	
$Ld = 5 \times \frac{Vo}{Vi} \times \phi$	Ld= 100,21 m
06-CÁLCULO DE NÚMERO MÍNIMO DE JET FANS	
$N^{\circ} mín = At/Spn$	N ^o mín= 1 JET FAN

Figura 57. Cálculo de número de jetfan para nivel sótano 1. Elaborado en Microsoft Excel.

Se aprecia de la Figura 56 y Figura 57, que los valores del impulso ejercido por el jetfan, al aire del ambiente es menor en cálculo, con respecto al valor real de catálogo. Así mismo, el área efectiva calculada es mucho mayor al área real de los estacionamientos. Entonces, teóricamente, un equipo jetfan HCT/IMP-LS-UNI-35-4T es suficiente para dar impulso al aire de ventilación en el ambiente, pero como ya hemos supuesto al inicio de este procedimiento, por disposición arquitectónica se van a considerar 2 jetfan, en las posiciones descritas en la Figura 52, y de esta manera verificar con la simulación en CFD, si cumple la función de mantener un impulso adecuado para que el aire no quede estanco.

4.7.3.2. Selección de equipos ventiladores centrífugos

Considerando la caída de presión del sistema, se selecciona la potencia mecánica del equipo, para así seleccionar según catálogos de fabricantes y los criterios de diseño. Para determinar la potencia de los equipos se utilizará la ecuación (8):

$$P = \frac{Q\rho gH}{n_T} \quad (82)$$

Cálculo de la potencia de equipo extractor centrífugo:

Se determinó las eficiencias del sistema, obteniéndose los siguientes valores:

Primero se calculó el rendimiento hidráulico:

$$n_h = H_s/H \quad (83)$$

dónde,

$$H_s = 1,91 \text{ in c. a.} = 0,0485 \text{ m c. a.} \quad (84)$$

$$H = 2,3 \text{ in c. a.} = 0,0584 \text{ m c. a.} \quad (85)$$

A continuación, se reemplazó (84) y (85) en (83), obteniendo el rendimiento hidráulico:

$$n_h = 0,83 \quad (86)$$

Segundo, se calculó el rendimiento volumétrico:

$$n_v = Q_s/Q \quad (87)$$

dónde,

$$Q_s = 10\,880 \text{ cfm} = 5,14 \text{ m}^3/\text{s} \quad (88)$$

$$Q = 11\,000 \text{ cfm} = 5,19 \text{ m}^3/\text{s} \quad (89)$$

A continuación, se reemplazó (88) y (89) en (87), obteniendo el rendimiento volumétrico:

$$n_v = 0,98 \quad (90)$$

Tercero, el rendimiento mecánico se determina conociendo las pérdidas que habrá en el eje y elementos mecánicos del motor y ventilador, por lo que se hará una estimación:

$$n_m = 0,80 \quad (91)$$

De esta manera, el rendimiento total del ventilador, es:

$$n_T = 0,83 \times 0,98 \times 0,80$$

$$n_T = 0,65 \quad (92)$$

A continuación, se reemplaza los valores de (85), (89) y (92) en (82).

$$P = \frac{5,19 \times 1000 \times 9,81 \times 0,0584}{0,65}$$

$$P = 4,57 \text{ KW} = 6,13 \text{ HP} \quad (93)$$

Por lo tanto, el motor para el extractor centrífugo será, según catálogos:

$$P = 7,5 \text{ HP} \quad (94)$$

De la misma manera se determina los valores de los rendimientos par el equipo inyector centrífugo:

$$n_h = \frac{H_s}{H} = \frac{0,776}{1,000} = 0,78 \quad (95)$$

$$n_v = \frac{Q_s}{Q} = \frac{10\ 880}{11\ 000} = 0,98 \quad (96)$$

$$n_m = 0,80 \quad (97)$$

$$n_T = 0,78 \times 0,98 \times 0,80$$

$$n_T = 0,62 \quad (98)$$

De esta manera, se reemplazan los valores en la ecuación (82):

$$P = 2,1 \text{ KW} = 2,8 \text{ HP} \quad (99)$$

Por lo tanto, el motor para el inyector centrífugo será, según catálogos:

$$P = 3 \text{ HP} \quad (100)$$

Para seleccionar los equipos, se va a seguir el siguiente criterio:

Paso 1. Se ingresan los valores de caudal y caída de presión de diseño redondeados, en el programa selector EasyVent de la marca Soler&Palau.

$$Q = 11\ 000 \text{ cfm} \quad (101)$$

$$P_t = 2,3 \text{ in c. a.} \quad (102)$$

A continuación, se presentan los 6 equipos que arroja el selector:

Descripción	Punto de trabajo %	Caudal (cfm)	Ptot (Inwg)	Potencia (Hp)	Motor (Hp)	Eficiencia (%)	LwA (dB(A))	Lp aspiración (dB(A))
+ CDAH-22/22-750 r.p.m-/4-10 hp	103	11.337	2,44	7,66	10,0	57,0	86	71
+ CDAH-22/22-725 r.p.m-/4-10 hp	100	10.959	2,28	6,92	10,0	57,0	85	70
+ CDAH-25/25-650 r.p.m-/4-10 hp	103	11.290	2,42	7,54	10,0	57,0	77	62
+ CDAH-25/25-625 r.p.m-/4-7,5 hp	99	10.856	2,24	6,70	7,50	57,0	76	61
+ CDAH-30/28-500 r.p.m-/4-7,5 hp	101	11.066	2,33	6,10	7,50	67,0	76	61
+ CDAH-30/28-475 r.p.m-/4-7,5 hp	96	10.513	2,10	5,23	7,50	67,0	75	60

Figura 58. Equipos centrífugos de extracción disponibles en punto de operación, marca S&P. Tomada de catálogo y selector online “EasyVent” por Soler&Palau. Disponible en: <https://easyvent.solerpalau.com/selector/easyvent>

Paso 2. Los datos obtenidos concernientes a las características en el punto de operación de los equipos, que se muestran en la Figura 58, se ordenan en una tabla según la prioridad que deben cumplir las variables de selección para encontrar el equipo idóneo para el correcto funcionamiento del sistema.

Tabla 31. Datos ordenados según prioridad de variable de selección de equipo extractor centrífugo.

MODELOS DISPONIBLES	VARIABLES DE SELECCIÓN					
	CAUDAL (cfm)	PRESIÓN (in c.a.)	POTENCIA (HP)	ALTURA (m)	EFICIENCIA (%)	PRESIÓN SONORA (dbA)
CDAH-22/22	11337	2,44	10,0	1,4	57	71
CDAH-22/22	10959	2,28	10,0	1,4	57	70
CDAH-25/25	11290	2,42	10,0	1,6	57	62
CDAH-25/25	10856	2,24	7,5	1,6	57	61
CDAH-30/28	11066	2,33	7,5	1,7	67	61
CDAH-30/28	10513	2,10	7,5	1,7	67	60

Nota: Elaborado en base a los datos de equipos obtenidos del selector EasyVent.

Paso 3. Se aplican valores de proporción conforme a la prioridad de cada variable y se asignan valores lógicos (0,1) u ordinales (1,2,3, etc.) independiente para cada variable, para encontrar un valor representativo.

A.- Para el caudal y presión total de extracción, se consideró un valor que sea igual o superior al valor de diseño. Entonces se asigna el valor “1” a los equipos que operan con un caudal y caída de presión mayor o igual a (101) y (102) respectivamente. Y se asigna el valor “0” a los equipos que ofrecen valores menores a los indicados, para que no sumen ningún valor al conteo, puesto que es muy importante que el punto de operación esté siempre por encima y no haya déficit. Por lo tanto, prácticamente con el valor “0”, se excluye a dichos equipos.

B.- Para la potencia, altura, eficiencia y presión sonora, se consideró el valor “3” para los equipos que posean el mínimo valor de los seleccionados, el valor “1” para los equipos que consuman el máximo y “2” para los equipos que consuman valores entre el mínimo y el máximo.

A continuación, se presenta la matriz de resultados para cada variable y su valoración ordenados según la prioridad y los valores asignados según los ítems A y B.

Tabla 32. Resultados de los valores asignados a las variables de selección de equipo extractor centrífugo

MODELOS DISPONIBLES	VARIABLES DE SELECCIÓN						RESULTADOS
	CAUDAL (cfm)	PRESIÓN (in c.a.)	POTENCIA (HP)	ALTURA (m)	EFICIENCIA (%)	PRESIÓN SONORA (dbA)	
CDAH-22/22	6	5	4	9	2	1	27
CDAH-22/22	0	0	4	9	2	2	17
CDAH-25/25	6	5	4	6	2	2	25
CDAH-25/25	0	0	12	6	2	2	22
CDAH-30/28	6	5	12	3	6	2	34
CDAH-30/28	0	0	12	3	6	3	24

Nota: Elaborado en base a los datos de equipos obtenidos del selector EasyVent.

De la Tabla 32, se puede apreciar que el valor máximo obtenido es de 34, que corresponde al equipo CDAH-30/28, puesto que, al analizar, se observa que los valores asignados a las variables de potencia, eficiencia y presión sonora, arrojan resultados superiores a los demás porque el equipo consume la menor

potencia, ofrece la mayor eficiencia y la presión sonora es la menor y por debajo del nivel permisible.

A continuación, se presentan los 10 equipos que arrojó el selector EasyVent de Soler&Palau para el equipo de inyección de aire, con los valores de diseño redondeados de los calculados en el procedimiento de diseño:

$$Q = 11\,000 \text{ cfm} \quad (103)$$

$$P_t = 1,0 \text{ in c. a.} \quad (104)$$

↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Descripción	Punto de trabajo %	Caudal (cfm)	Ptot (Inwg)	Potencia (Hp)	Motor (Hp)	Eficiencia (%)	LwA (dB(A))	Lp aspiración (dB(A))	
+ CDAH-20/20-675 r.p.m-/4-7,5 hp	101	11.142	1,03	5,41	7,50	33,0	80	65	
+ CDAH-20/20-650 r.p.m-/4-5 hp	98	10.730	0,95	4,83	5,00	33,0	79	64	
+ CDAH-22/22-550 r.p.m-/4-5 hp	104	11.461	1,09	4,36	5,00	45,0	72	57	
+ CDAH-22/22-525 r.p.m-/4-5 hp	99	10.940	0,99	3,79	5,00	45,0	72	57	
+ CDAH-25/25-450 r.p.m-/4-5 hp	101	11.131	1,02	3,56	5,00	50,0	71	56	
+ CDAH-25/25-425 r.p.m-/4-5 hp	96	10.513	0,91	3,00	5,00	50,0	70	55	
+ CDAH-30/28-350 r.p.m-/4-5 hp	107	11.789	1,15	3,08	5,00	69,0	71	56	
+ CDAH-30/28-325 r.p.m-/4-3 hp	100	10.947	0,99	2,46	3,00	69,0	69	54	
+ CDAH-36/36-300 r.p.m-/4-5 hp	103	11.357	1,07	4,41	5,00	43,0	97	82	
+ CDAH-36/36-275 r.p.m-/4-5 hp	95	10.410	0,90	3,40	5,00	43,0	97	82	

Figura 59. Equipos centrífugos de inyección disponibles en punto de operación, marca S&P. Tomada de catálogo y selector online “EasyVent” por Soler&Palau. Disponible en: <https://easyvent.solerpalau.com/selector/easyvent>.

Los datos obtenidos de la Figura 59, se ordenan en una tabla según la prioridad que deben cumplir las variables de selección para encontrar el equipo idóneo para el correcto funcionamiento.

Tabla 33. Datos ordenados según prioridad de variable de selección de equipo inyector centrífugo

MODELOS DISPONIBLES	VARIABLES DE SELECCIÓN					PRESIÓN SONORA (dba)
	CAUDAL (cfm)	PRESIÓN (in c.a.)	POTENCIA (HP)	ALTURA (m)	EFICIENCIA (%)	
CDAH-20/20	11142	1,03	7,5	1,3	33	65
CDAH-20/20	10730	0,95	5,0	1,3	33	64
CDAH-22/22	11461	1,09	5,0	1,4	45	57
CDAH-22/22	10940	0,99	5,0	1,4	45	57
CDAH-25/25	11131	1,02	5,0	1,6	50	56
CDAH-25/25	10513	0,91	5,0	1,6	50	55
CDAH-30/28	11789	1,15	5,0	1,7	69	56
CDAH-30/28	10947	0,99	3,0	1,7	69	54
CDAH-36/36	11357	1,07	5,0	2,2	43	82
CDAH-36/36	10410	0,90	5,0	2,2	43	82

Nota: Elaborado en base a los datos de equipos obtenidos del selector EasyVent.

El procedimiento para la asignación de valores y prioridad, es el mismo que para el equipo de extracción.

Tabla 34. Resultados de los valores asignados a las variables de selección de equipo inyector centrífugo

MODELOS DISPONIBLES	VARIABLES DE SELECCIÓN					PRESIÓN SONORA (dbA)	RESULTADOS
	CAUDAL (cfm)	PRESIÓN (in c.a.)	POTENCIA (HP)	ALTURA (m)	EFICIENCIA (%)		
CDAH-20/20	6	5	4	9	2	2	28
CDAH-20/20	0	0	8	9	2	2	21
CDAH-22/22	6	5	8	6	4	2	31
CDAH-22/22	0	0	8	6	4	2	20
CDAH-25/25	6	5	8	6	4	2	31
CDAH-25/25	0	0	8	6	4	2	20
CDAH-30/28	6	5	8	6	6	2	33
CDAH-30/28	0	0	12	6	6	3	27
CDAH-36/36	6	5	8	3	4	1	27
CDAH-36/36	0	0	8	3	4	1	16

Nota: Elaborado en base a los datos de equipos obtenidos del selector EasyVent.

De la Tabla 34, se puede apreciar que el valor máximo obtenido es de 33, que corresponde al equipo CDAH-30/28, puesto que, al analizar, se observa que los valores asignados a las variables de potencia, eficiencia y presión sonora, arrojan resultados superiores a los demás porque el equipo consume la menor potencia, ofrece la mayor eficiencia y la presión sonora es la menor y por debajo del nivel permisible.

4.7.3.3. Selección de equipos ventiladores axiales

Para la selección de los equipos axiales, se utilizó el selector QuickFan de la marca Sodeca, puesto que cuentan con equipos axiales con caudales altos de operación y se siguió el siguiente procedimiento:

Paso 1. Se ingresan los valores de diseño en el selector virtual.

$$Q_{sot\ 2,3,4} = 2\ 800\ cfm \quad (105)$$

$$P_t = 0,1\ in\ c.\ a. \quad (106)$$

$$V_{ac} = 220\ V \quad (107)$$

$$Q_{sot\ 1} = 2\ 600\ cfm \quad (108)$$

Los equipos disponibles en ese punto de operación, se muestran a continuación:

<input type="radio"/> +/- Modelo	Velocidad (rpm)	Tensión	Hiz/fases	Intensidad máx. admisible (A)	Potencia (kW) [**]	Nivel potencia sonora dB (A) [**]	Peso aprox. (kg)	Velocidad salida aire (m/s)	Q (cfm)	Pt (inH2O)
<input checked="" type="radio"/> MODELOS ESTÁNDAR (10 MODELOS)										
<input checked="" type="radio"/> HC-50-6M/H 60HZ	1080	220-277 V	60/1	2,69	0,37	18	8,434	3699	0,1746	
<input checked="" type="radio"/> HC-50-6T/H 60HZ	1080	380-480 V Y	60/3	1,3	0,37	18	8,434	3699	0,1746	
<input checked="" type="radio"/> HC-56-6M/H 60HZ	1080	220-277 V	60/1	2,69	0,37	19	8,798	4586	0,2683	
<input checked="" type="radio"/> HC-56-6T/H 60HZ	1080	380-480 V Y	60/3	1,3	0,37	19	8,798	4586	0,2683	
<input checked="" type="radio"/> HCRE/EC-63-T	507	380-415 V	50/3	1,85	1,1*	23,5	4,104	2800	0,1	
<input checked="" type="radio"/> HC-63-6M/H 60HZ	1068	220-277 V	60/1	3	0,37	21	8,57	5738	0,42	
<input checked="" type="radio"/> HC-63-6T/H 60HZ	1080	380-480 V Y	60/3	1,3	0,37	21	8,57	5738	0,42	
<input checked="" type="radio"/> HC-50-4M/H 60HZ	1620	220-277 V	60/1	5,02	0,55	18	13,61	5968	0,4544	
<input checked="" type="radio"/> HC-50-4T/H 60HZ	1656	380-480 V Y	60/3	1,69	0,55	18	13,61	5968	0,4544	
<input checked="" type="radio"/> HC-71-6T/H IE3 60HZ	1128	380-480 V Y	60/3	1,93	0,75	36	7,103	5958	0,4528	

Figura 60. Equipos axiales de extracción disponibles en punto de operación en sótano 2, 3 y 4, marca SODECA. Tomada de selector Quickfan por Sodeca. Disponible en:

<https://www.sodeca.com/es/software>

○ +/- Modelo	Velocidad (rpm)	Tensión	HHz/fases	Intensidad máx. admisible (A)	Potencia (kW) [†]	Nivel potencia sonora dB (A) [††]	Peso aprox. (kg)	Velocidad salida aire (m/s)	Q (cfm)	Pt (inH ₂ O)
▲ MODELOS ESTÁNDAR (10 MODELOS)										
○ ● HC-50-6M/H 60HZ	1080	220-277 V	60/1	2,69	0,37		18	8,102	3554	0,1868
○ ● HC-50-6T/H 60HZ	1080	380-480 V Y	60/3	1,3	0,37		18	8,102	3554	0,1868
○ ● HC-56-6M/H 60HZ	1080	220-277 V	60/1	2,69	0,37		19	8,52	4441	0,2917
○ ● HC-56-6T/H 60HZ	1080	380-480 V Y	60/3	1,3	0,37		19	8,52	4441	0,2917
○ ● HCRE/EC-63-T	492	380-415 V	50/3	1,85	1,1*		23,5	3,811	2600	0,1
○ ● HC-63-6M/H 60HZ	1068	220-277 V	60/1	3	0,37		21	8,035	5380	0,4281
○ ● HC-63-6T/H 60HZ	1080	380-480 V Y	60/3	1,3	0,37		21	8,035	5380	0,4281
○ ● HC-50-4M/H 60HZ	1620	220-277 V	60/1	5,02	0,55		18	13,06	5730	0,4856
○ ● HC-50-4T/H 60HZ	1656	380-480 V Y	60/3	1,69	0,55		18	13,06	5730	0,4856
○ ● HC-71-6T/H IE3 60HZ	1128	380-480 V Y	60/3	1,93	0,75		36	6,63	5561	0,4575

Figura 61. Equipos axiales de extracción disponibles en punto de operación en sótano 1, marca SODECA. Tomada de selector Quickfan por Sodeca. Disponible en:

<https://www.sodeca.com/es/software>

Paso 2. Los datos obtenidos concernientes a las características en el punto de operación de los equipos, que se muestran en la Figura 60 y Figura 61, se ordenan en una tabla según la prioridad que deben cumplir las variables de selección para encontrar el equipo idóneo para el correcto funcionamiento.

Tabla 35. Datos ordenados según prioridad de variable de selección de equipo extractor axial de nivel típico sótano 2, 3 y 4.

MODELOS DISPONIBLES	VARIABLES DE SELECCIÓN						
	TENSIÓN (V)	CAUDAL (cfm)	PRESIÓN (in c.a.)	POTENCIA (KW)	ALTURA (m)	EFICIENCIA (%)	PRESIÓN SONORA (dbA)
HC-50-6M/H	220	3699	0,18	0,37	0,67	32,80	55
HC-50-6T/H	380	3699	0,18	0,37	0,67	32,80	55
HC-56-6M/H	220	4586	0,27	0,37	0,71	62,90	57
HC-56-6T/H	380	4586	0,27	0,37	0,71	62,90	57
HCRE/EC-63-T	380	2800	0,10	1,10	0,80	48,30	0

Nota: Elaborado en base a los datos de equipos obtenidos del selector EasyVent.

Paso 3. Se aplican valores de proporción conforme a la prioridad de cada variable y se asignan valores lógicos (0,1) u ordinales (1,2,3, etc.) independiente para cada variable, para encontrar un valor representativo.

A.- Para la tensión, caudal y presión total de montante de extracción, se consideró un valor que sea igual o superior al valor de diseño. Entonces se

asigna el valor “1” a los equipos que operan con un caudal y caída de presión mayor o igual a (105) y (106) respectivamente, así mismo a los que operen con un motor de tensión. Y se asigna el valor “0” a los equipos que ofrecen valores menores a los indicados, para que no sumen ningún valor al conteo, puesto que es muy importante que el punto de operación esté siempre por encima y no haya déficit. Por lo tanto, prácticamente con el valor “0”, se excluye a dichos equipos.

B.- Para la potencia, altura, eficiencia y presión sonora, se consideró el valor “3” para los equipos que posean el mínimo valor de los seleccionados, el valor “1” para los equipos que consuman el máximo y “2” para los equipos que consuman valores entre el mínimo y el máximo.

A continuación, se presenta la matriz de resultados para cada variable y su valoración ordenados según la prioridad y los valores asignados según los ítems A y B.

Tabla 36. Resultados de los valores asignados a las variables de selección de equipo extractor axial nivel sótano 2, 3 y 4.

MODELOS DISPONIBLES	VARIABLES DE SELECCIÓN							PRESIÓN SONORA (dbA)	RESULTADOS
	TENSIÓN (V)	CAUDAL (cfm)	PRESIÓN (in c.a.)	POTENCIA (KW)	ALTURA (m)	EFICIENCIA (%)			
HC-50-6M/H	7	6	5	12	9	2	2	43	
HC-50-6T/H	0	6	5	12	9	2	2	36	
HC-56-6M/H	7	6	5	12	6	6	1	43	
HC-56-6T/H	0	6	5	12	6	6	1	36	
HCRE/EC-63-T	0	6	5	4	3	4	3	25	

Nota: Elaborado en base a los datos de equipos obtenidos del selector EasyVent.

De la Tabla 36, se puede apreciar que el valor máximo obtenido es de 43, que corresponde a los equipos HC-50-6M/H y HC-56-6M/H, puesto que, al analizar, se observa que los valores asignados a las variables de potencia, eficiencia y presión sonora, arrojan resultados superiores a los demás porque el equipo consume la menor potencia, ofrece la mayor eficiencia y la presión sonora es la menor y por debajo del nivel permisible.

A continuación, se presenta las tablas de selección para el equipo extractor axial del nivel sótano 1.

Tabla 37. Datos ordenados según prioridad de variable de selección de equipo extractor axial de nivel sótano 1.

MODELOS DISPONIBLES	VARIABLES DE SELECCIÓN						PRESIÓN SONORA (dba)
	TENSIÓN (V)	CAUDAL (cfm)	PRESIÓN (in c.a.)	POTENCIA (KW)	ALTURA (m)	EFICIENCIA (%)	
HC-50-6M/H	220	3554	0,19	0,37	0,67	33,36	55
HC-50-6T/H	380	3554	0,19	0,37	0,67	33,36	55
HC-56-6M/H	220	4441	0,29	0,37	0,71	65,76	57
HC-56-6T/H	380	4441	0,29	0,37	0,71	65,76	57
HCRE/EC-63-T	380	2600	0,10	1,10	0,81	47,78	0

Nota: Elaborado en base a los datos de equipos obtenidos del selector EasyVent.

Los valores asignados para las variables de selección se presentan en la siguiente matriz:

Tabla 38. Resultados de los valores asignados a las variables de selección de equipo extractor axial, nivel sótano 1.

MODELOS DISPONIBLES	VARIABLES DE SELECCIÓN							PRESIÓN SONORA RESULTADOS (dba)
	TENSIÓN (V)	CAUDAL (cfm)	PRESIÓN (in c.a.)	POTENCIA (KW)	ALTURA (m)	EFICIENCIA (%)		
HC-50-6M/H	7	6	5	12	9	2	2	43
HC-50-6T/H	0	6	5	12	9	2	2	36
HC-56-6M/H	7	6	5	12	6	6	1	43
HC-56-6T/H	0	6	5	12	6	6	1	36
HCRE/EC-63-T	0	6	5	4	3	4	3	25

Nota: Elaborado en base a los datos de equipos obtenidos del selector EasyVent.

4.7.4. Validación de sistema de extracción de gases contaminantes

La validación del sistema de extracción se realizó mediante un procesamiento en CDF, por servicio contratado a la compañía Sodeca, que es fabricante e importadora de equipos ventiladores. La selección de los equipos jetfan a utilizar y las dimensiones y caudales de las rejillas de extracción e inyección que se propusieron, fueron simulados con el CFD de la siguiente manera:

Paso 1. Se establece los límites del espacio a ventilar, en este caso dado por los planos de arquitectura, respetando los tamaños y ubicaciones de los elementos estructurales, tales como vigas, columnas, muros, etc., que interfieren con el flujo de aire que se genera al encender el sistema de ventilación.

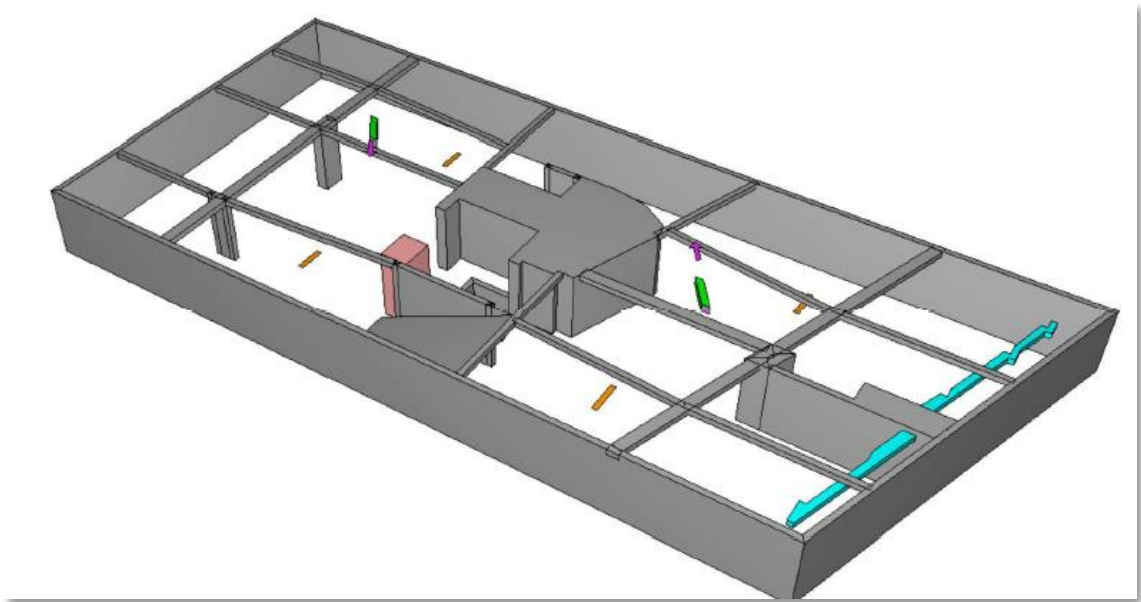


Figura 62. Espacio limitante del volumen a ventilar en los estacionamientos del nivel crítico sótano 4. Tomado de informe final de simulación CFD, por Sodeca.

Paso 2. Se parte del supuesto más crítico, que es cuando el volumen total de los estacionamientos está viciado, en su totalidad, con una concentración de 50ppm de CO, según lo que indica la norma EM.030 del RNE como situación crítica para encender el sistema. Cabe resaltar que esta suposición, es una exageración para darle un valor crítico a la simulación, puesto que el volumen de los estacionamientos, no llega a saturarse en su totalidad con los gases contaminantes, sino solamente un porcentaje suficiente hasta que el sensor de monóxido haga la lectura y encienda el sistema.

Paso 3. Se ingresan los valores de entrada para la simulación, como la concentración máxima con la que se va a trabajar, la cantidad de autos en operación, la cantidad de estacionamientos y las dimensiones del recinto. Así mismo se ingresan los valores del diseño, tales como las bocas de extracción (1 boca de caudal de 2 800 cfm) y las bocas de aportación de aire fresco (5 bocas de caudal de 560 cfm y tamaño 18"x10").

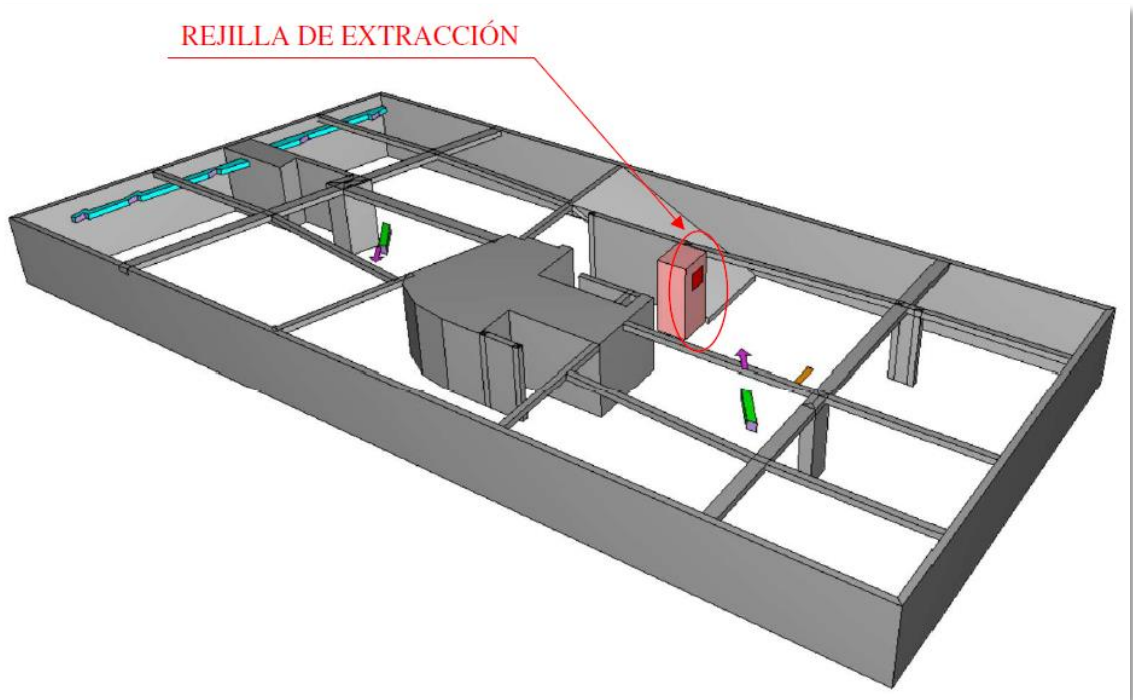


Figura 63. Dimensionamiento de bocas de inyección, extracción e inducción en los estacionamientos del nivel crítico sótano 4. Tomado de informe final de simulación CFD, por Sodeca.

Paso 4. Se realiza el procedimiento de simulación, haciendo correr el software para que resuelva todas las direcciones posibles que pueda tomar el aire y predecir si el aire va a tomar el camino planteado desde la zona de inyección hasta la zona de extracción y de esta manera evacuar las concentraciones de gases contaminantes. Los valores de la simulación por capas, se presentan para una altura de 1,60 m medidos desde el nivel de piso terminado, puesto que es una altura media para respiración de las personas ubicadas dentro de los estacionamientos.

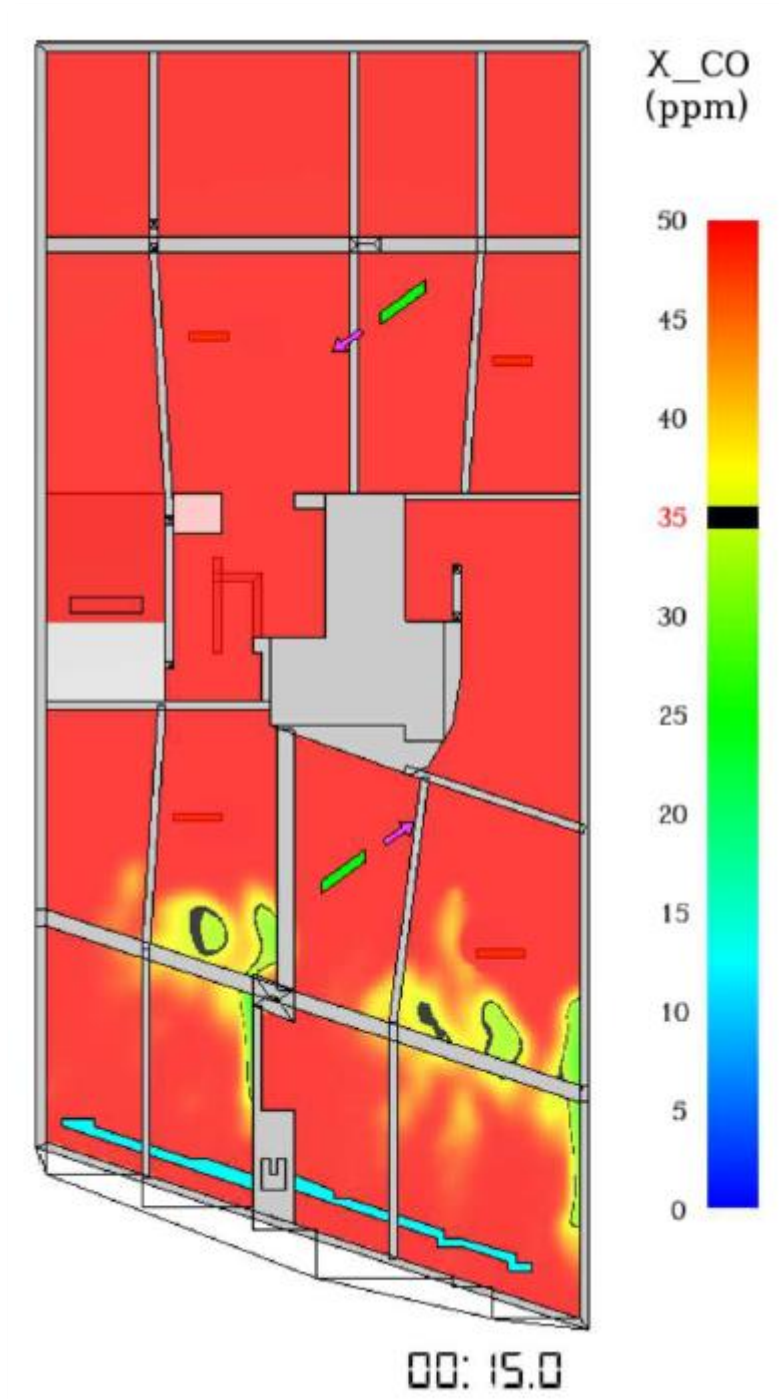


Figura 64. Concentración de CO a 1,6 m del suelo, medido a 15 s del inicio de la simulación. Tomado de informe final de simulación CFD, por Sodeca.

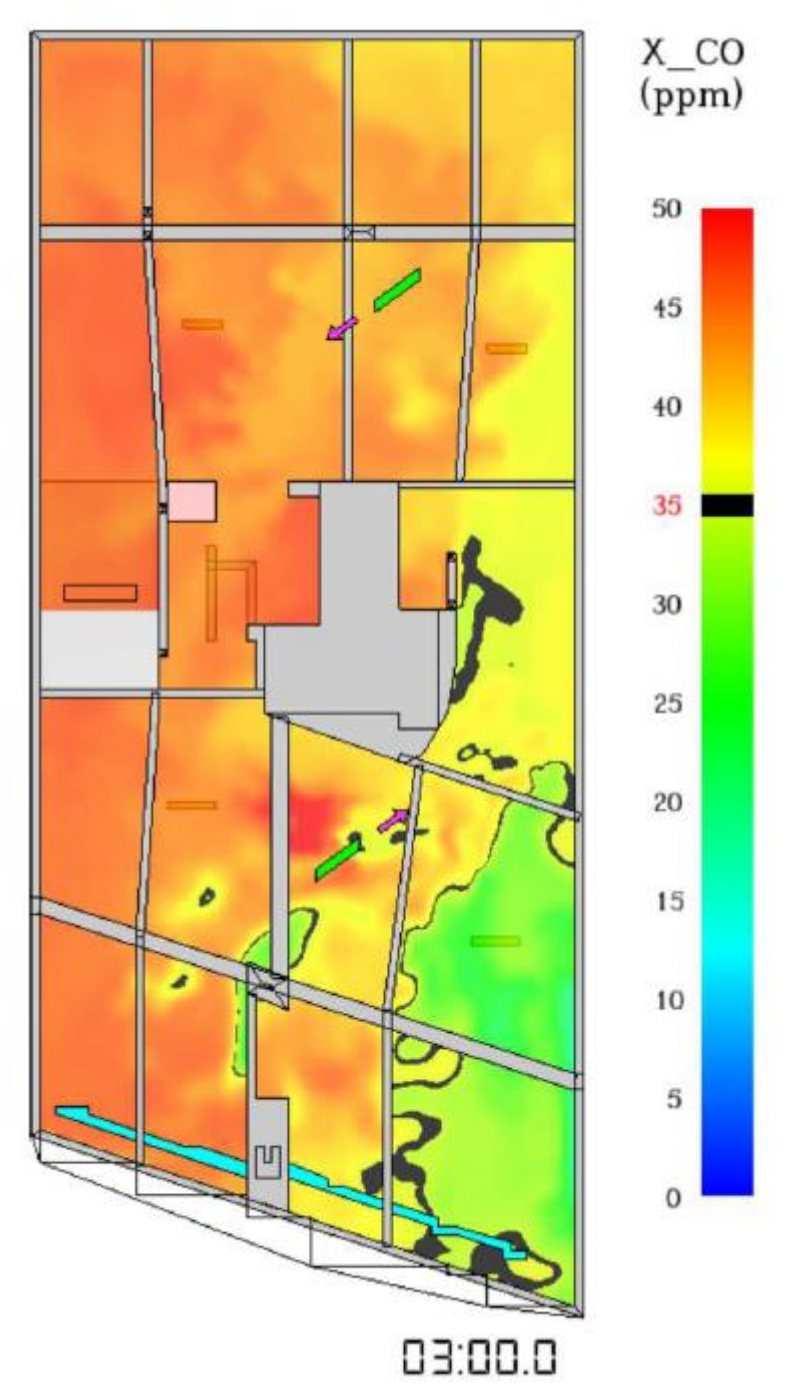


Figura 65. Concentración de CO a 1,6 m del suelo, medido a 1,0 min del inicio de la simulación. Tomado de informe final de simulación CFD, por Sodeca.

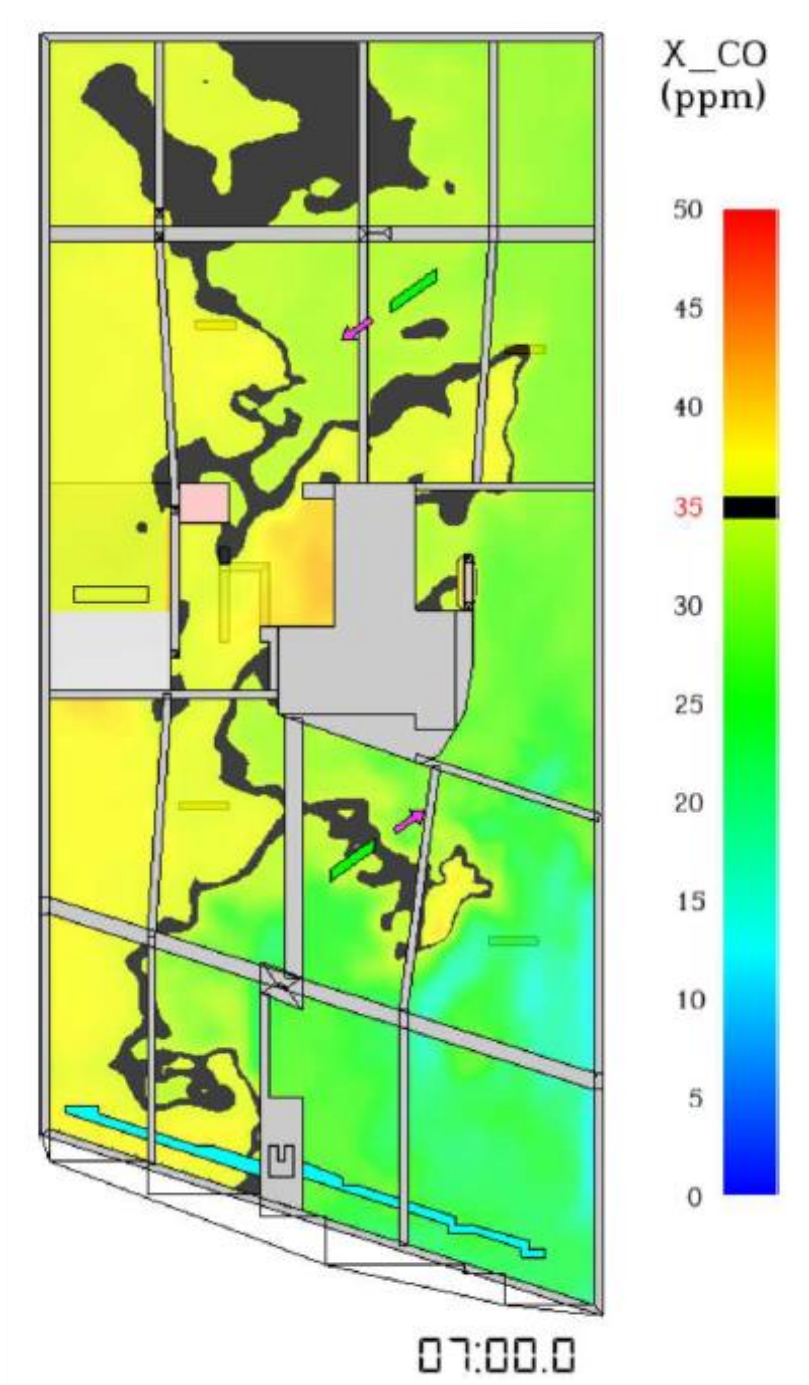


Figura 66. Concentración de CO a 1,6 m del suelo, medido a 7,0 min del inicio de la simulación. Tomado de informe final de simulación CFD, por Sodeca.

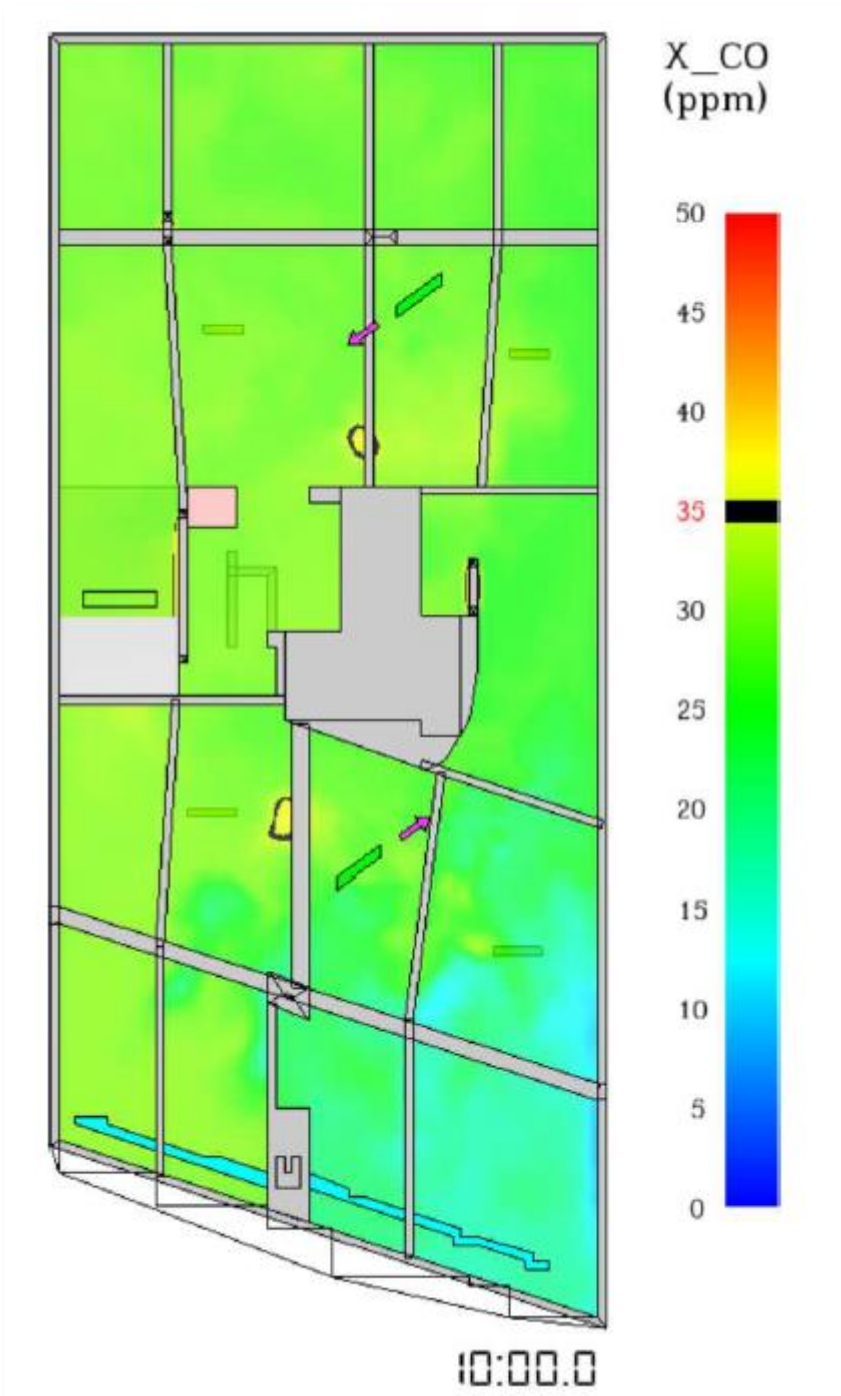


Figura 67. Concentración de CO a 1,6 m del suelo, medido a 10,0 min del inicio de la simulación. Tomado de informe final de simulación CFD, por Sodeca.

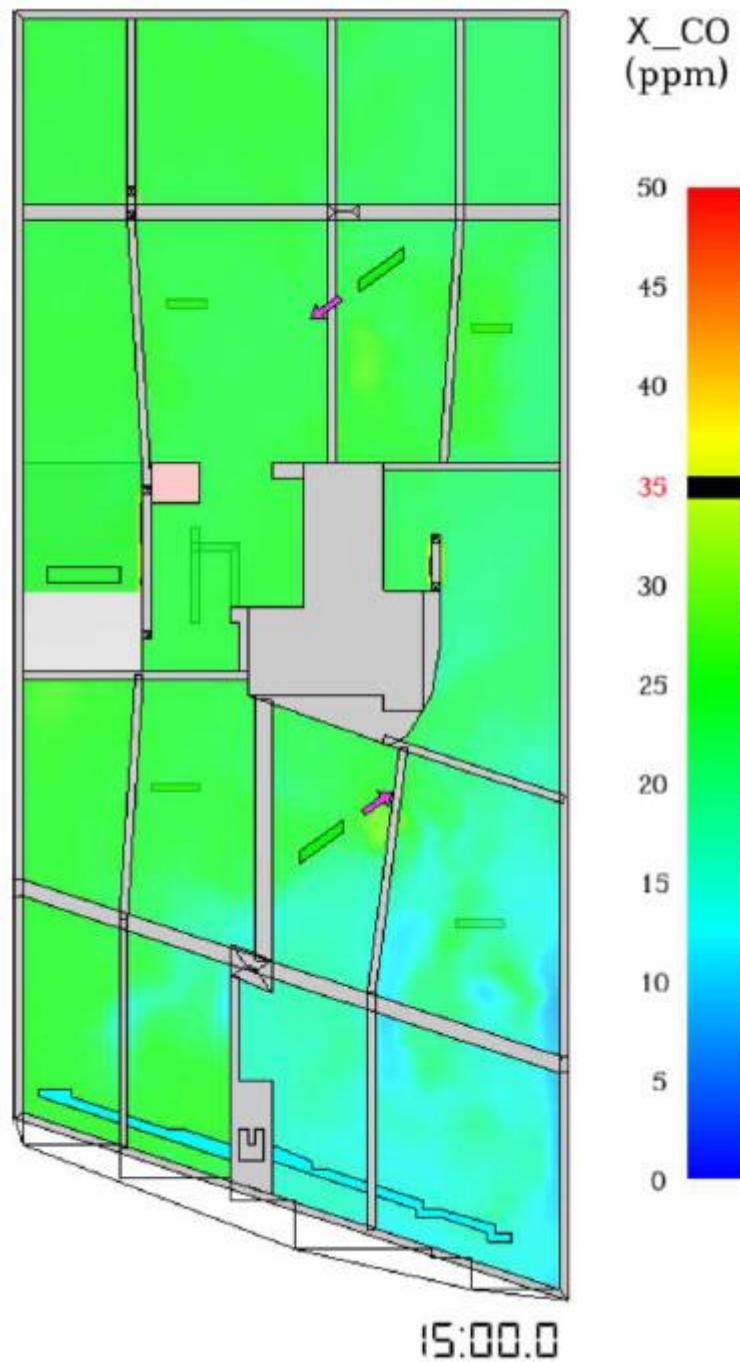


Figura 68. Concentración de CO a 1,6 m del suelo, medido a 15,0 min del inicio de la simulación. Tomado de informe final de simulación CFD, por Sodeca.

A continuación, se presentan las gráficas de la simulación del perfil de velocidad inducida del aire circulante dentro del estacionamiento crítico sótano 4:

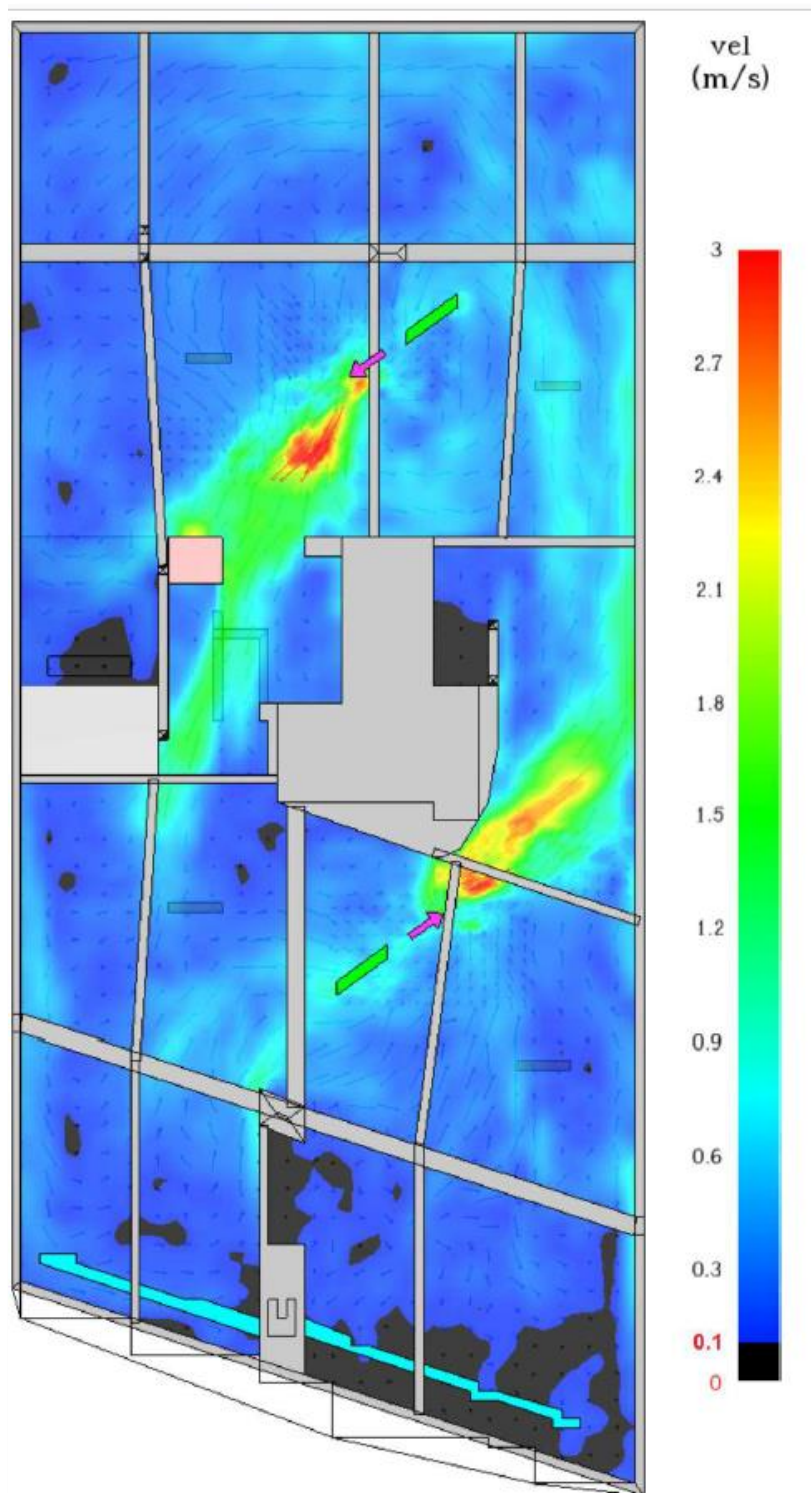


Figura 69. Perfil de velocidades dentro del estacionamiento a 1,6m de altura. Tomada de informe final de simulación CFD, por Sodeca.

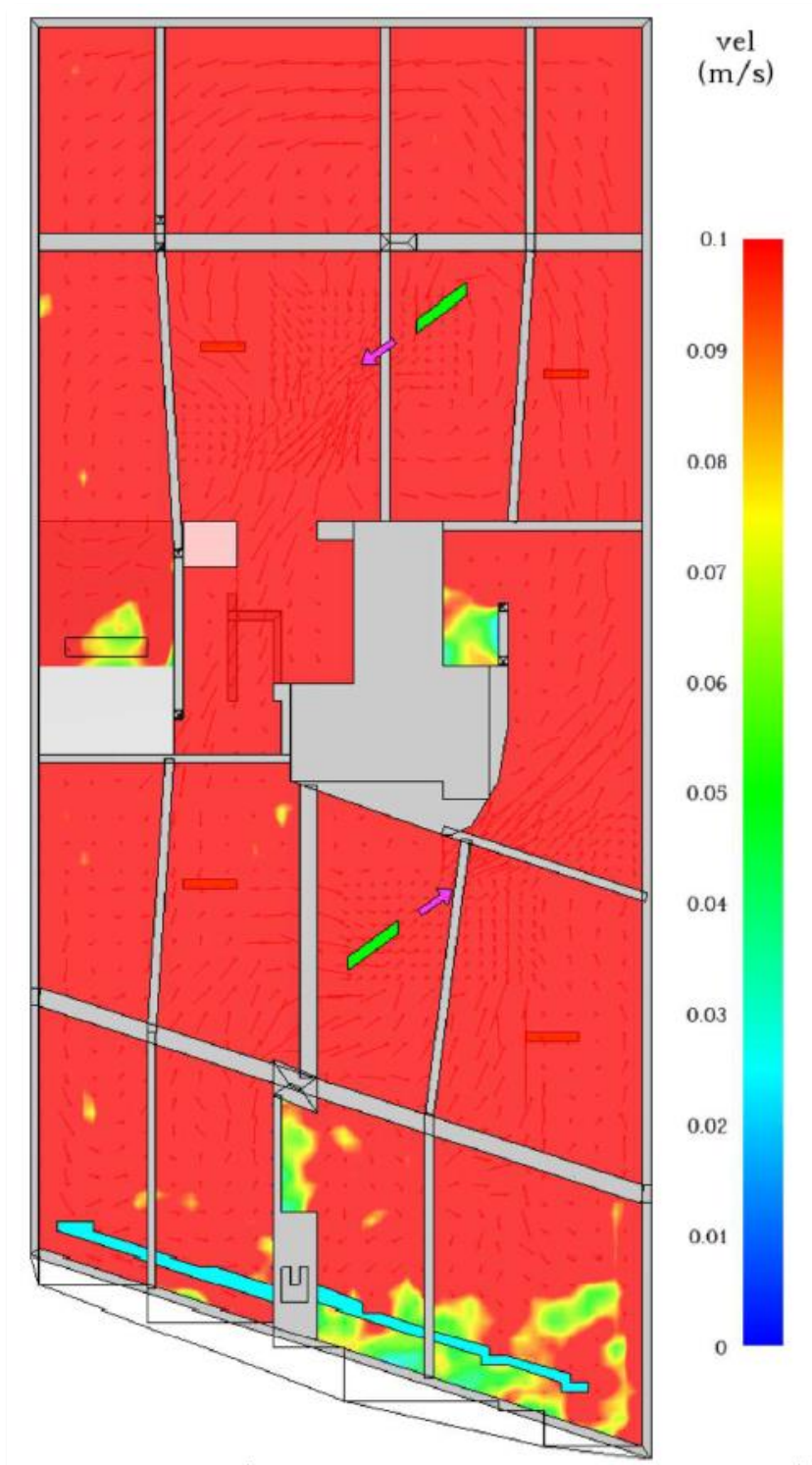


Figura 70. Perfil de velocidad máxima dentro del estacionamiento a 1,6m de altura. Tomada de informe final de simulación CFD, por Sodeca.

Como se puede apreciar de las Figura 69 y Figura 70, la velocidad inducida dentro del recinto, supera casi en su totalidad la velocidad mínima de 0,1 m/s que se establece para que el aire dentro del ambiente no se estanque y se quede detenido en lugares recónditos entre vigas o muros.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados de objetivo específico 1. Parámetros básicos de diseño

Los resultados de los parámetros básicos de diseño se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 39. Resultados de parámetros básicos de diseño.

NIVEL	ÁREA ft ²	ALTURA ft	CAUDAL ASHRAE CFM	CAUDAL (RNE AREA) CFM	CAUDAL (RNE VOLUMEN) CFM	CAUDAL DISEÑO CFM
1	3 547,91	8,53	1 447	2 329	2 523	2 600
2	3 915,95	8,53	2 026	2 571	2 785	2 800
3	3 907,34	8,53	2 026	2 565	2 779	2 800
4	3 926,49	8,53	2 316	2 578	2 793	2 800
TOTAL:						11 000

Nota: Elaborado en base a los resultados obtenidos en los cálculos de los parámetros básicos de diseño, en Microsoft Excel.

Como se puede ver en la Tabla 39, el caudal de diseño se obtiene al seleccionar el mayor de los resultados obtenidos por los 3 métodos descritos en el subcapítulo 4.7.1, y posteriormente se realiza un redondeo del mismo a manera de factor de seguridad, por si se presentan márgenes de error, así mismo para facilitar el cálculo posterior y la selección de equipos.

5.2. Resultado de objetivo específico 2. Diseño de la distribución de aire

Se presentan los resultados de la distribución de aire diseñada, tales como dimensión de ductos, tamaño de rejillas, dámper y caída de presión del sistema.

Tabla 40. Resultados de la distribución de aire (inyección), nivel sótano 2, 3 y 4.

TRAMO	CAUDAL (cfm)	DUCTO A (in)	DUCTO H (in)	ESPESOR (mm)	REJILLAS (inxin)	DAMPER (inxin)
A-B	560	10	8	0,6	18"x10"	
B-C	1 120	12	12	0,6	18"x10"	
C-M1	1 680	16	14	0,6	18"x10"	22"x16"
D-E	560	10	8	0,6	18"x10"	
E-M1	1 120	12	12	0,6	18"x10"	

Nota: Elaborado en base a los resultados obtenidos en los cálculos de la distribución de aire, en Microsoft Excel.

Tabla 41. Resultados de la distribución de aire (inyección), nivel sótano 1.

TRAMO	CAUDAL (cfm)	DUCTO A (in)	DUCTO H (in)	ESPESOR (mm)	REJILLAS (inxin)	DAMPER (inxin)
A-B	650	10	8	0,6	24"x10"	
B-M4	1 300	14	12	0,6	24"x10"	22"x16"
C-D	650	10	8	0,6	24"x10"	
D-M4	1 300	14	12	0,6	24"x10"	

Nota: Elaborado en base a los resultados obtenidos en los cálculos de la distribución de aire, en Microsoft Excel.

Tabla 42. Resultados de la distribución de aire (extracción), nivel sótano 1.

TRAMO	CAUDAL (cfm)	DUCTO A (in)	DUCTO H (in)	ESPESOR (mm)
M4-M6	11 000	47	22	0,8

Nota: Elaborado en base a los resultados obtenidos en los cálculos de la distribución de aire, en Microsoft Excel.

Para ver el diseño completo de la distribución de aire y la representación, ver planos del proyecto en **ANEXO 14, ANEXO 15, ANEXO 16** y **ANEXO 17**.

Tabla 43. Resultados de ruta crítica del sistema.

SISTEMA	CAUDAL TOTAL (cfm)	RUTA CRÍTICA	CAÍDA (in c.a.)
INYECCIÓN	11 000	M1-M5-M9	1,0
EXTRACCIÓN	11 000	A-M1-M4-M6	2,3

Nota: Elaborado en base a los resultados obtenidos en los cálculos de la distribución de aire, en Microsoft Excel.

En la Tabla 43, se aprecia que la caída de presión mayor en el sistema de extracción, es del tramo M1-M5-M9, que corresponde al recorrido que va al nivel sótano 4, y la caída de presión mayor en el sistema de inyección, es del tramo A-M1-M4-M6. Esto se puede deducir, dado que son plantas típicas y tienen caídas de presión iguales en cada nivel, por ende, la mayor caída de presión se dará cuando el recorrido sea el más largo. La caída de presión del sistema de extracción es 1,91 in c.a., al cual se le ha aplicado un factor de seguridad (FS) de 20%, obteniéndose 2,29 in c.a. y redondeado a 2,3 in c.a. para selección del equipo extractor. La caída de presión del sistema de inyección es 0,776 in c.a., al cual se le ha aplicado un factor de seguridad (FS) de 20%, obteniéndose 0,93 in c.a. y redondeado a 1,0 in c.a. para selección del equipo inyector.

A continuación, se presentan los accesorios que se seleccionaron para complementar a los ductos de distribución de aire:

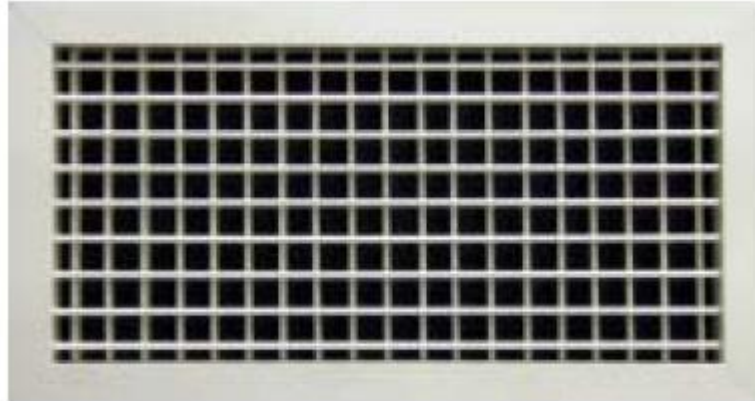


Figura 71. Rejilla de inyección de aire para caudal de 560 y 650 cfm marca koolair. Tomada de catálogo “Serie 20.1 rejillas de impulsión”, por Koolair.



Figura 72. Dámper motorizado para sistema de inyección de aire. Tomada de selección “Catálogo Técnico”, por Salvador Escoda S.A.



Figura 73. Dámper manual antirretorno para sistema de extracción. Tomada de catálogo “Dámper con álabes de aluminio opuestas”, por Soler&Palau.

5.3. Resultado específico 3. Selección de equipos

Se presentan los equipos seleccionados según los catálogos que ofrecen las marcas fabricantes de equipos de ventilación.

Tabla 44. Resultados de la selección de equipos para el sistema de ventilación.

EQUIPO	MODELO	CAUDAL DISEÑO/ REAL (cfm)	PRESIÓN DISEÑO/ REAL (in c.a.)	TIPO	TRANSMISIÓN	MOTOR (KW/HP-V-F-Hz)	TRABAJO	UBICACIÓN
EC-01	CDAH-30/28	11 000 11 066	2,3/2,33	CENTRÍFUGO EN GABINETE	FAJA Y POLEA	7,5HP/220V/3F/60Hz	EXTRACTOR DE CO	SÓTANO 1
IC-01	CDAH-30/28	11 000 11 789	1,0/1,15	CENTRÍFUGO EN GABINETE	FAJA Y POLEA	5HP/220V/3F/60Hz	INYECTOR DE AIRE FRESCO	SÓTANO 1
EA-01	HC-56-6M/H	2 800 4 586	0,1/0,27	AXIAL	DIRECTA	0,4KW/220V/1F/60Hz	EXTRACTOR DE CO	SÓTANO 2 AL 4
EA-02	HC-56-6M/H	2 600 4 441	0,1/0,29	AXIAL	DIRECTA	0,4KW/220V/1F/60Hz	EXTRACTOR DE CO	SÓTANO 1
JF-01	HCT/IMP-LS-UNI-35-4T	1 889	-	TUBULAR	DIRECTA	0.12KW-220V-3F-60Hz	ESTACIONAMIENTOS	SÓTANOS 1 AL 4

Nota: Elaborado en base a los resultados obtenidos en la selección de equipos con análisis de selección de variables, en Microsoft Excel.

Los equipos centrífugos seleccionados fueron tomados del catálogo de Soler&Palau, los equipos axiales y jetfan seleccionados fueron tomados del

catálogo de Sodeca. Los equipos centrífugos y axiales a implementarse en una futura realización del proyecto, no necesariamente deben ser de las marcas mencionadas, sino que se debe tomar en cuenta solamente los puntos de operación y los datos del motor para cumplir con los parámetros de diseño calculados para el correcto funcionamiento del sistema y la carga eléctrica instalada que el proyecto eléctrico considerará.

NOTA: Por recomendación del especialista en la simulación CFD, esta se ha realizado con la marca y modelo de jetfan seleccionado (ver Tabla 44), por lo que no se puede cambiar por uno similar ni de otra marca, sino la simulación no tendrá validez.



Figura 74. Ventilador centrífugo CDAH-30/28 seleccionado para extracción e inyección. Tomada de “Ficha técnica S&P”, ver **ANEXO 3** y **ANEXO 4**.

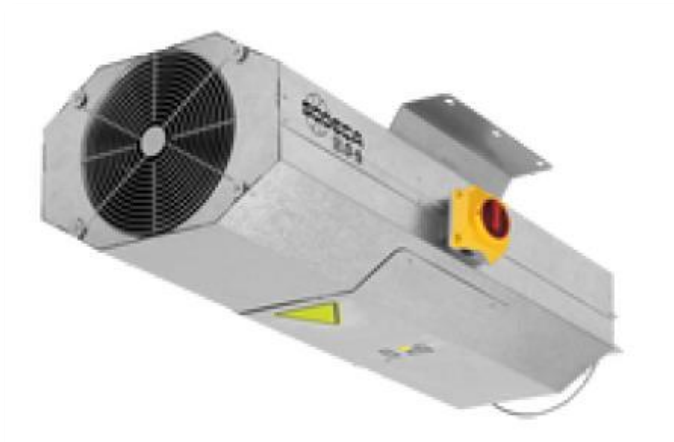


Figura 75. Equipo Jetfan HCT/IMP-LS-UNI-35-4T seleccionado para inducción de aire. Tomada de “Ficha Técnica Sodeca”, ver **ANEXO 2**.



Figura 76. Ventilador axial HC-56-6M/H seleccionado para extracción. Tomada de “Ficha técnica Sodeca”, ver **ANEXO 5** y **ANEXO 6**.

5.4. Resultado específico 4. Validación de la extracción de los gases contaminantes

La simulación CFD, del sistema de ventilación con jetfan, se realizó mediante el programa “Solidworks Flow Simulation” por parte de la empresa contratada para el servicio (Sodeca), y arrojó los siguientes resultados:

Como se observa en la Tabla 45, la simulación ha corrido durante 15 minutos en total, y de esta manera se ha comprobado que mientras avanzan los minutos con el sistema en funcionamiento, la concentración crítica mayor a 35 ppm va disminuyendo en el área del plano de capa crítica a la altura de 1,60 m. En el minuto 10, la simulación predice que el sistema habrá evacuado los gases contaminantes casi en su totalidad, reduciendo la concentración a niveles muy por debajo de lo permitido. Posteriormente para el minuto 15, la concentración en todo el ambiente, ya habrá disminuido a niveles aproximados entre 0 y 20 ppm, por lo que el sistema procederá a apagarse.

Tabla 45. Resultados de la simulación del sistema de ventilación con jetfan.

Tiempo transcurrido (min)	Porcentaje aproximado del área (%)	Concentración de CO crítica (ppm)	Porcentaje aproximado del área (%)	Concentración de CO permitida (ppm)
0	100	50	-	-
1	85	45-50	15	30-40
2	70	35-50	30	25-35
3	65	35-45	35	20-35
4	60	35-40	40	20-35
5	50	35-38	45	20-35
6	45	35-38	50	15-35
7	35	35-37	60	15-35
8	25	35-36	75	10-35
9	10	35-36	90	10-30
10	2-5	35-36	95-97	5-25
15	0	>35	100	0-20

Nota: Elaborado en base a los resultados obtenidos en la simulación con CFD, en Microsoft Excel.

Los valores que se tabularon en la tabla anterior, son los resultados de la simulación que realizó la empresa Sodeca como servicio contratado para validar el diseño planteado en los cálculos.

A continuación, se presentan las figuras del informe final, dónde se detallan las concentraciones a lo largo del tiempo transcurrido de 0 a 15 min para una altura de 1,6 m, que es la altura promedio dónde el aire es respirable para las personas que se encuentren en el ambiente. Así mismo las velocidades máximas y mínimas a diferentes alturas, cabe resaltar que se recomienda que la velocidad inducida del aire dentro del ambiente, no esté por debajo de 0,1 m/s para que no se considere estanco.

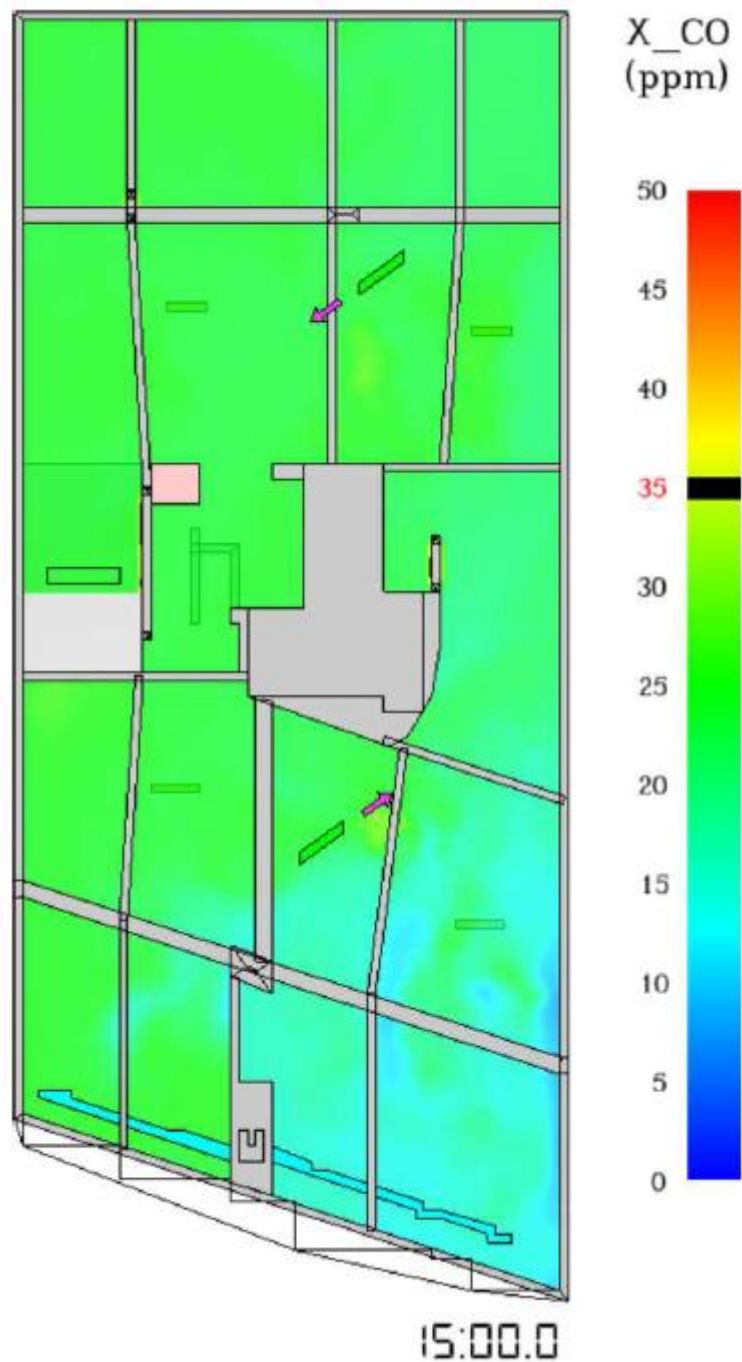


Figura 77. Mapa de resultados de simulación CFD del sistema de extracción de gases contaminantes, a 15 min de funcionamiento en el nivel crítico sótano 4. Tomada de “Informe final de simulación CFD, proyecto Marbello”, por Sodeca.

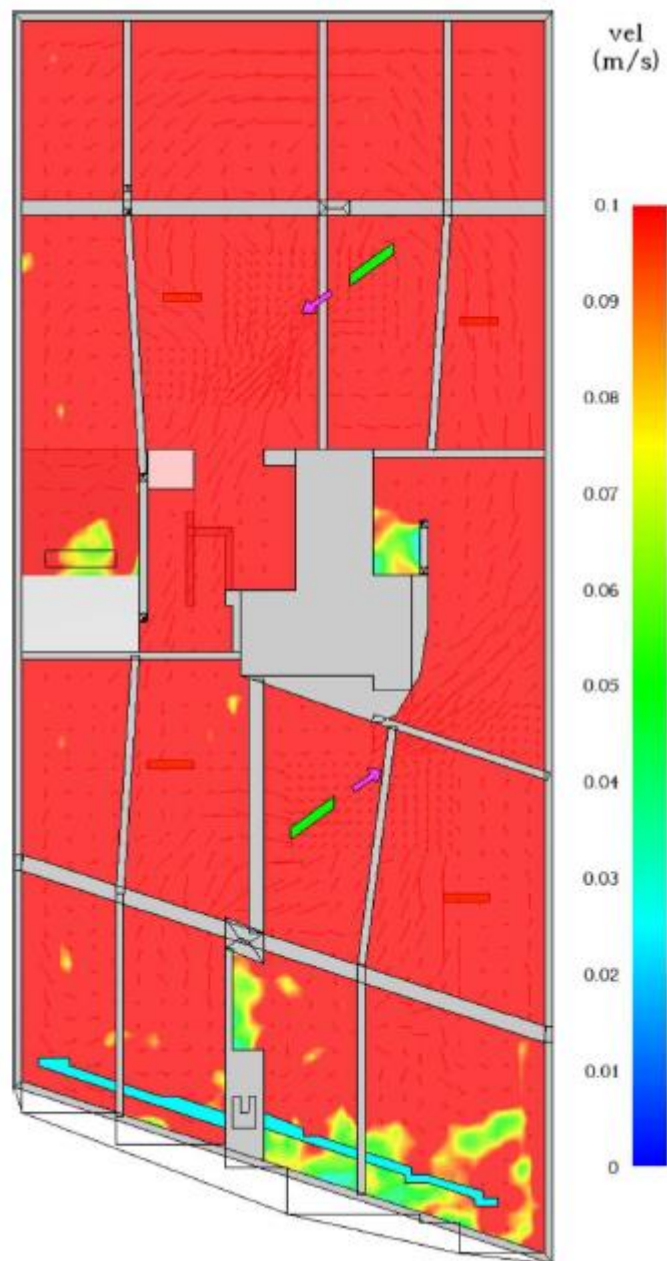


Figura 78. Mapa de resultados del perfil de velocidades en el nivel crítico sótano 4.
Tomada de “Informe final de simulación CFD, proyecto Marbello”, por Sodeca.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

- Se comprobó que al diseñar un sistema de ventilación mecánica con jetfan, utilizando como base para el cálculo, la normativa ASHRAE y el RNE, se justifican los parámetros teóricos adecuados para el correcto funcionamiento del sistema, siendo estos el caudal total de ventilación de 11 000 cfm y la caída de presión del sistema de extracción e inyección que resultó 2,3 in c.a. y 1,0 in c.a. respectivamente. Así mismo se corroboró que, simulando con CFD el diseño planteado, se logra extraer la concentración de los gases contaminantes, reduciendo dichas concentraciones a niveles mínimos entre 0 ppm y un máximo de 20 ppm en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello.
- Se confirmó que, determinando los parámetros básicos siguiendo los procedimientos establecidos en la norma ASHRAE y el RNE, se pudo diseñar el sistema de ventilación mecánica con jetfan en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello; dando como resultado el caudal de diseño para los niveles de estacionamientos sótano 2, 3 y 4, en 2 800 cfm, y para el nivel sótano 1 en 2 600 cfm.
- Se logró comprobar que, al diseñar la distribución de aire, mediante los criterios de cálculo del manual de Carrier, Salvador Escoda y Pitta se pudo lograr una adecuada distribución de aire en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello, dando como resultado una distribución de inyección mediante 5 rejillas de inyección de 560 cfm para los niveles sótano 2, 3 y 4; y para el nivel sótano 1, un total de 4 rejillas de inyección de 650 cfm cada una.
- Se comprobó que, si se selecciona los equipos del sistema de ventilación mecánica en base al criterio de selección variables se pudo lograr un óptimo funcionamiento del sistema de ventilación mecánica con los equipos seleccionados de la Tabla 44, ya que cumplen con los parámetros del punto de operación dados para el sistema de extracción y el sistema de inyección de aire.

- Se pudo corroborar que, si se emplea el uso del simulador CFD asumiendo un caso extremo y crítico en el que la concentración es de 50 ppm en el 100% del volumen de aire del nivel de estacionamiento crítico del sótano 4 se pudo validar la extracción de los gases contaminantes a niveles de concentración permisibles en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello mediante el diseño mecánico del sistema de ventilación con jetfan, quedando como concentraciones mínimas, niveles entre 0 y 20 ppm en todo el volumen del estacionamiento crítico sótano 4.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

- Carlos Alberto Marín Tovar de la Universidad San Francisco de Quito, menciona que la ubicación y distribución adecuada de los jetfan, se realiza mediante varias simulaciones CFD, de esta forma se puede conocer el movimiento del aire en el interior de los sótanos, para poder evitar concentraciones de CO en el aire estancado. Por lo tanto, concuerda con la presente investigación que realizó la simulación con el mismo procedimiento, partiendo de las ubicaciones y cantidades de equipos jetfan supuestas en el diseño, para posteriormente validarlas en la simulación, realizando varias simulaciones con fin de comprobar dónde queda el aire estancado y reubicar los equipos hasta la posición óptima.
- De acuerdo con Roberto Carlos Acosta Gómez de la Universidad Técnica de Ambato, que menciona en su estudio de impacto en la salud a causa de los contaminantes concentrados en parqueaderos, concluye que un sistema de ventilación bien distribuido y diseñado, que mantenga las concentraciones máximas permisibles, no generará daños en la salud de los ocupantes, puesto que realizó mediciones y pruebas de carboxihemoglobina en la sangre en trabajadores que fueron expuestos, arrojando valores mínimos permitidos. Entonces la presente investigación, en concordancia con Acosta, ha diseñado el sistema de extracción de gases contaminantes en estacionamientos utilizando la normativa ASHRAE, que recomienda cálculos mínimos para mantener las concentraciones permitidas para no exponer a los ocupantes a estos

impactos en la salud, producto de la exposición a los gases contaminantes acumulados en el aire interior de los estacionamientos.

- En concordancia con Yampier Alberto Marcial Valladares de la Universidad Tecnológica del Perú que obtuvo como resultado en su diseño de un sistema de extracción de CO mediante sistema de distribución con ductos, una concentración final de 25 ppm que está dentro de lo permitido. Así mismo la presente investigación, mediante la simulación con CFD, predice que las concentraciones alcanzadas luego de 10 min como mínimo de funcionamiento en un caso crítico donde la concentración llega a 50 ppm en todo el volumen del sótano más alejado, se logra alcanzar las concentraciones mínimas entre 5 y 25 ppm en todo el volumen del sótano crítico simulado y de esta manera estar en concordancia con Marcial y la normativa que lo exige. Posteriormente al pasar 15 min de funcionamiento, el sistema logra ventilar el ambiente hasta descender las concentraciones de gases contaminantes a 0 ppm y un máximo de 20 ppm en todo el ambiente.
- Esvin Salazar Mera de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo propuso un sistema de ventilación independiente para cada nivel de estacionamientos, para que, al detectar alta concentración en un nivel, sólo se encienda el equipamiento de dicho nivel, y no afecte a los demás. Acorde con ello, la presente investigación ha planteado un sistema independiente para cada nivel de estacionamiento, pero con un equipo de apoyo que ayude a los extractores axiales a vencer la presión en la montante de 45m de longitud que descarga el aire viciado hasta la azotea, pero se diferencia en que el sistema de inyección funciona con un solo equipo centrífugo que suministra aire fresco, siendo este limitado en cada nivel de estacionamiento, no por un equipo axial, sino por un dámper motorizado que debe accionarse en el nivel de trabajo y el resto quedar desactivado, impidiendo que el aire entre a un nivel que no lo requiera.

CONCLUSIONES

1. Se logró diseñar un sistema de ventilación mecánica con jetfan para extraer la concentración de los gases contaminantes en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello, mediante la utilización de la normativa ASHRAE y RNE, de las cuales se siguió sus procedimientos y recomendaciones para encontrar los parámetros básicos y diseñar el sistema. Posteriormente el sistema planteado fue validado con un software que realiza la simulación CFD.
2. Se cumplió el objetivo de determinar los parámetros básicos de caudal de extracción e inyección para el diseño del sistema de ventilación mecánica con jetfan determinados en el capítulo IV, siendo estos 2 800 cfm para los sótanos 2 al 4, y 2 600 cfm para el sótano 1. Estos parámetros calculados lograron abastecer de aire renovado suficiente a los estacionamientos para expulsar el aire viciado con la concentración de gases contaminantes. Siendo el caudal necesario 11 000 cfm en total para los 4 niveles de estacionamiento.
3. Se logró diseñar la distribución de aire del sistema de ventilación mecánica en los estacionamientos del edificio Marbello, que comprende la dimensión de los ductos de inyección, los espesores de las planchas galvanizadas utilizadas para la fabricación, las rejillas y los dámperes de regulación detallados en el capítulo V. Este diseño de la distribución, permite que el aire circule de forma continua desde la zona de inyección, hasta la zona de extracción con una velocidad mínima inducida de 0,1 m/s hasta un máximo de 3 m/s, lo que demuestra que el aire no quedará estanco y se podrá ventilar el ambiente adecuadamente.
4. Se cumplió con el objetivo de seleccionar los equipos del sistema de ventilación mecánica en los estacionamientos del edificio Marbello, utilizando extractores axiales HC-56-6M, equipos centrífugos CDAH-30/28 y jetfan HCT/IMP-LS-UNI-35, los que fueron seleccionados porque cumplen con el punto de operación requerido por el diseño del sistema y al trabajar con una eficiencia óptima, superior a 35%.

5. Se validó la extracción de los gases contaminantes en los estacionamientos del edificio Marbello, mediante la simulación CFD que pudo predecir el comportamiento del aire dentro del nivel de estacionamiento crítico sótano 4, que circulará a velocidades superiores a 0,1 m/s y por debajo de 3 m/s, lo que no ocasiona molestias ni ruido excesivo. Así mismo las concentraciones predichas luego de 15 min de funcionamiento del sistema para una situación extremadamente crítica, quedaron entre 0 y 20 ppm en todo el ambiente.

RECOMENDACIONES

1. El reglamento nacional (RNE) recomienda que las renovaciones de aire limpio sean de 5 ren/h, pero en las normas europeas se recomienda que se realice el cálculo con 6 ren/h. Se recomienda al lector que, siendo diseñador mecánico de estos sistemas, utilizar cualquiera de los parámetros, pero tomando en cuenta que, al escoger el valor europeo, se puede sobredimensionar los equipos, lo que conlleva a aumentar el costo de implementación y reducir la eficiencia de los equipos seleccionados.
2. Se recomienda al lector que sea encargado de diseños similares, independizar los sistemas, si se cuenta con varios niveles de estacionamientos, siempre y cuando hay disposición arquitectónica lo permita, puesto que en la presente investigación no se pudo contar con equipos axiales independientes para cada nivel. Es por este motivo que se plantearon dámetros motorizados en cada nivel para controlar el caudal.
3. Se recomienda al lector que labore seleccionando equipos de ventilación, o diseñando sistemas similares, utilizar selectores de equipos de marcas conocidas para encontrar el equipo adecuado que ofrezca las condiciones que necesita el sistema. De esta manera se garantizará que existe en la realidad un equipo para ese punto de operación, considerando sus dimensiones reales.
4. Se recomienda al lector que aspire a dedicarse a diseñar sistemas mecánicos de HVAC, obtener conocimientos del simulador CFD, tanto del software como del procedimiento adecuado para realizar la simulación. De esta manera se podrá optimizar los costos de investigación si se cuenta con una computadora adecuada, para no contratar a terceros que realicen este servicio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, R. Concentraciones de monóxido de carbono y su incidencia en la salud del personal que labora en el parqueadero del edificio principal del GAD Municipal de Ambato. Tesis (Grado de Magister en Seguridad e Higiene Industrial y Ambiental). Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2017. 181 pp. [fecha de consulta: 01 de junio de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25951>
- AMADO, A. Validación de Modelos de Ventilación en Metros y Túneles Ferroviarios. Revista Vía Libre Técnica [en línea]. Marzo, 2011. [fecha de consulta: 10 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.tecnica-vialibre.es/ficharticulo.asp?item=95>
- ARIAS, Denis, Manual para citar y referenciar fuentes en textos de ingeniería- Según norma ISO 690-2. Huancayo: Universidad Continental. Fondo Editorial, 2019. ISBN 978-612-4443-04-6
- ASHRAE STANDARD. *ANSI/ASHRAE 62.1 – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Atlanta, GA: ASHRAE Inc., 2007. ISSN 1041-2336
- ASHRAE. *ASHRAE Handbook – HVAC Applications*. Atlanta, GA: ASHRAE Inc., 2019. ISBN-10: 1947192132
- BERNAL, C. *Metodología de la investigación*. 3.º ed. Bogotá: Pearson Educación, 2010. ISBN 978-958-699-125-5
- BRITISH STANDARD. *BS 7346-7:2006. Components for smoke and heat control systems-Part 7: Code of practice on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat control systems for covered car parks*. Londres: BSI, 2006. ISBN 0 580 49087 4
- CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. *Manual de Aire Acondicionado (Handbook of Air Conditioning System Design)*. 1.º ed. Barcelona: MARCOMBO S.A. de Boixareu Editores, 1980. ISBN 84-267-0115-9
- CÉNGEL, Y. y M. BOLES. *Termodinámica*. 7.º ed. México D.F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A. de C.V., 2012. ISBN 978-607-15-0743-3

- ESPINOZA, C. *Metodología de investigación tecnológica*. 1.º ed. Huancayo: Imagen Gráfica SAC, 2010. ISBN 978-612-00-0222-3
- GUTIÉRREZ E. y L. ONIEVA. *La selección de variables a través de componentes principales: estudio de un caso*. Universidad de Sevilla, 2007.
- LOREN COOK COMPANY. *Engineering Cookbook A Handbook For The Mechanical Designer*. 3.º ed. Missouri: LorenCook.com, 2015.
- MARCIAL, Y. 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 República. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Lima: Universidad Tecnológica del Perú, 2019. 222 pp. [fecha de consulta: 01 de junio de 2021]. Disponible en:
<https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/2110>
- MARÍN, C. Diseño de un sistema de ventilación mediante el uso de CFD. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Quito: Universidad San Francisco de Quito, 2013. 102 pp. [fecha de consulta: 01 de junio de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/2486>
- MATÁIX, C. *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. 2.º ed. Madrid: Ediciones del Castillo S.A., 1982. ISBN 84-219-0175-3
- MOTT, R. *Mecánica de Fluidos*. 6.º ed. México: Pearson Educación, 2006. ISBN 970-26-0805-8
- NORMA ESPAÑOLA. *UNE 23585 - Seguridad contra incendios-Sistemas de control de temperaturas y evacuación de humos (SCTEH)-Requisitos y métodos de cálculo y diseño para proyectar un sistema de control de temperatura y de evacuación de humos en caso de incendio*. Madrid: AENOR, 2004. D.L.: M 53471:2004
- PITTA, E. *Acondicionamiento de Aire. Principios y Sistemas*. 2.º ed. México D.F.: Grupo GEO Impresiones S.A., 2005. ISBN 13: 9789682612473

- POSTIGO, Jaime. y J. CRUZ. *Termodinámica II – Termodinámica Aplicada*. 3.º ed. Lima: 2010.
- POTTER, M., Wiggert, D. y RAMADAM, B. *Mecánica de Fluidos*. 4.º ed. Santa Fe: Cengage Learning Editores, 2015. ISBN 13: 978-607-519-459-2
- Reglamento Nacional de Edificaciones. 10ma ed. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia, 2019. ISBN 978-612-4180-43-6
- SALAZAR, E. Diseño de “Un sistema de ventilación con detección de monóxido de carbono (CO)” para sótanos de estacionamiento de un edificio multifamiliar. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico Electricista). Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2017. 137 pp. [fecha de consulta: 01 de junio de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/2243>
- SAMPIERI, H., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. *Metodología de la investigación*. 6.º ed. México D.F.: McGraw-Hill / Interamericana Editores S.A., 2014. ISBN 978-1-4562-2396-0
- VALDERRAMA, S. *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica: Cuantitativa, cualitativa y mixta*. 2.º ed. Lima: Editorial San Marcos EIRL, 2015. ISBN 978-612-302-878-7

ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de consistencia

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA CON JETFAN PARA EXTRAER LA CONCENTRACIÓN DE GASES CONTAMINANTES EN LOS ESTACIONAMIENTOS DEL EDIFICIO MULTIFAMILIAR MARBELLO, MAGDALENA”

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
GENERAL	GENERAL	GENERAL		
¿Cómo diseñar un sistema de ventilación mecánica con jettfan para extraer la concentración de gases contaminantes en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello?	Diseñar un sistema de ventilación mecánica con jettfan para extraer la concentración de gases contaminantes en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello.	“Si se diseña un sistema de ventilación mecánica con jettfan mediante la normativa ASHRAE, RNE, y el empleo de CFD se logra extraer la concentración de los gases contaminantes en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello”.	VARIABLE INDEPENDIENTE Diseño de un sistema de ventilación mecánica con jettfan	La investigación es de tipo aplicada puesto que se basa en teorías y procedimientos para llegar a la solución de la problemática.
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS		
¿Cómo determinar los parámetros básicos de diseño del sistema de ventilación mecánica con jettfan para la extracción de los gases contaminantes en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello?	Determinar los parámetros básicos de diseño del sistema de ventilación mecánica con jettfan para la extracción de los gases contaminantes en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello.	Si se determina los parámetros básicos mediante los procedimientos establecidos en la norma ASHRAE y el RNE, se logra diseñar el sistema de ventilación mecánica con jettfan para la extracción de gases contaminantes en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello.		La investigación es de diseño descriptivo simple puesto que recopila información referente a las variables utilizadas para calcular los parámetros de diseño.
¿Cómo diseñar la distribución de aire del sistema de ventilación mecánica en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello?	Diseñar la distribución de aire del sistema de ventilación mecánica en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello	Si se diseña la distribución de aire mediante los criterios de cálculo del manual de Carrier, Salvador Escoda y Pitta; se logra una adecuada distribución de aire en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello.		La población y muestra son iguales y es los 4 niveles de estacionamiento.
¿Cómo seleccionar los equipos del sistema de ventilación mecánica en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello?	Seleccionar los equipos del sistema de ventilación mecánica en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello.	Si se selecciona los equipos del sistema de ventilación mecánica en base al criterio de selección de variables, se logra un óptimo funcionamiento del sistema de ventilación mecánica.		VARIABLE DEPENDIENTE Concentración de gases contaminantes
¿Cómo validar la extracción de los gases contaminantes a niveles de concentración permisibles en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello?	Validar la extracción de los gases contaminantes a niveles de concentración permisibles en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello.	Si se valida la extracción de los gases contaminantes a niveles de concentración permisibles mediante la simulación CFD, se comprueba el diseño mecánico del sistema de ventilación con jettfan en los estacionamientos del edificio multifamiliar Marbello.		

ANEXO 2. Ficha técnica de equipo jetfan HCT/IMP-LS-UNI-35



INFORME TÉCNICO DE DATOS
18/08/2021

HCT/IMP-LS-UNI-35-4T-0.12 60HZ



Jet fans de gran alcance unidireccionales o reversibles

Jet fans de gran alcance unidireccionales o reversibles con diseño octogonal para movimiento de aire y extracción de CO en aparcamientos.

Ventilador:

- Conjunto de ventilador unidireccional o reversible compuesto de ventilador, silenciadores, deflectores y soportes.
- Hélice orientable diseñada para obtener grandes empujes.
- Rejilla de protección contra contactos según norma UNE-EN ISO 12499 en los modelos unidireccionales.
- Deflector para aumento de alcance del aire, en el lado de impulsión. Los modelos reversibles van equipados con deflectores en ambos lados.
- Silenciadores de alta atenuación con aislamiento térmico y acústico.
- Interruptor de seguridad, serie INT, incorporado en el ventilador (HCT/IMP-L).
- Dirección aire motor-hélice o reversible 100%.
- HCT/IMP-L: Envolverte en chapa de acero galvanizado.
- HCT/IMP-LS: Envolverte de longitud reducida, en chapa de acero galvanizada.

Motor:

- Motores clase F con rodamientos a bolas y protección IP55. De 1 ó 2 velocidades según modelo.
- Trifásicos 380/440 V 60 Hz.
- Temperatura máxima del aire a transportar: -20 °C +40 °C.

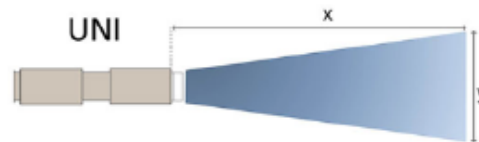
Acabado:

- Anticorrosivo en chapa de acero galvanizado.

Bajo demanda:

- Prestaciones de empuje distintas a las indicadas.
- Versión homologada para evacuación de humos según norma EN 12101-3 (ver serie THT/IMP).

DARDO CARACTERÍSTICO Y ACÚSTICA A 20°C 0MSNM 1,2KG/M³

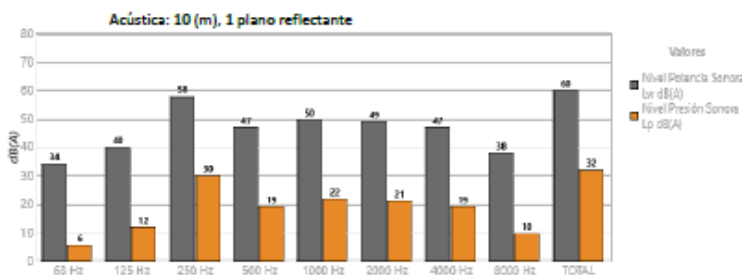


Punto Diseño (a Rpm máx.)

Longitud x del dardo (m)	13,02
Anchura y del dardo (m)	5,535

Punto Servicio (PS)

Velocidad (rpm)	1584
Caudal (cfm)	1889
Impulso (N)	10
Velocidad salida aire (m/s)	9,3
Velocidad aire (m/s)	1



Banda	Lw dB(A)	Lp dB(A)
63 Hz	34	6
125 Hz	40	12
250 Hz	58	30
500 Hz	47	19
1000 Hz	50	22
2000 Hz	49	21
4000 Hz	47	19
8000 Hz	38	10
TOTAL	60	32

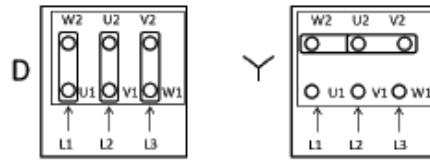
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Caudal máximo (cfm)	1889
Velocidad (rpm)	1584



DATOS DEL MOTOR

Potencia Mecánica Nominal (kW)	0,09
Hz/fases	60/3
Motor (rpm)	1584
Polos	4P
Corriente máx. (A) 380-480 V Y	0,38
Corriente máx. (A) 220-277 V D	0,65
Protección del motor	IP55
Tamaño del bastidor del motor	56



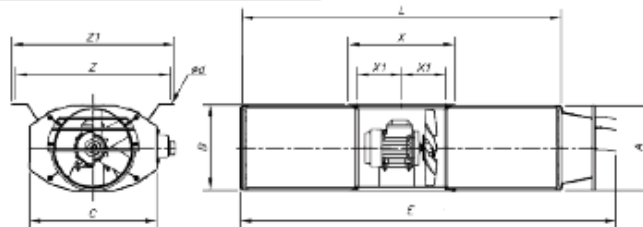
Los datos pueden cambiar, por favor consulte la placa del motor

DIMENSIONES

A	B	C	∅d	E	L	X	X1	Z	Z1
383	386	523	12x26	1410	1200	400	167	614	644

Las dimensiones sin unidades definidas explícitamente se muestran en milímetros (mm). Dimensiones dependientes del motor son aproximadas

Peso aprox. (kg)	45
------------------	----



ACCESORIOS DISPONIBLES



Se debe comprobar que el accesorio es adecuado para el modelo de ventilador

ANEXO 3. Ficha técnica de equipo extractor centrífugo CDAH-30/28



CDAH

CDAH-30/28-7.5HP/4-500RPM-(208-230~3)



Unidades de ventilación diseñadas para la inyección y extracción de aire con opción en descarga horizontal o vertical **CDA**; su estructura está fabricada en lámina de acero galvanizada que la hacen un conjunto ideal para instalaciones en intemperie, marca S&P, modelo CDAH-30/28-7.5HP/4-500rpm-(208-230~3), con caudal 11.066 cfm y presión 2,23 Inwg.

Punto requerido

Caudal 11.000 cfm
 Presión total 2,30 Inwg
 Temperatura 20 °C
 Altitud 0 m
 Densidad 1,2 Kg / m³
 Frecuencia 60 Hz

Punto de trabajo

Caudal 11.066 cfm
 Presión estática 2,23 Inwg
 Presión dinámica 0,097 Inwg
 Presión total 2,33 Inwg
 Eficiencia 67
 Pot. Elect absorbida 6,60 hp
 Rend Total 66,6 %
 Potencia útil 6,10 Hp
 Factor de Servicio Req 10
 Rend Estático 63,9 %
 Velocidad descarga 6,3 m/s
 Velocidad aspiración 6,3 m/s
 Velocidad ventilador 500 rpm
 Potencia específica 0,95 W/lvs

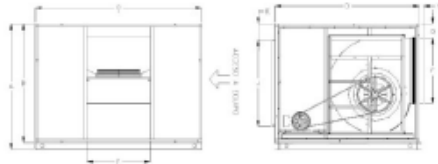
Construcción

Tamaño ventilador 30/28
 Peso 589,73 kg

Características del motor

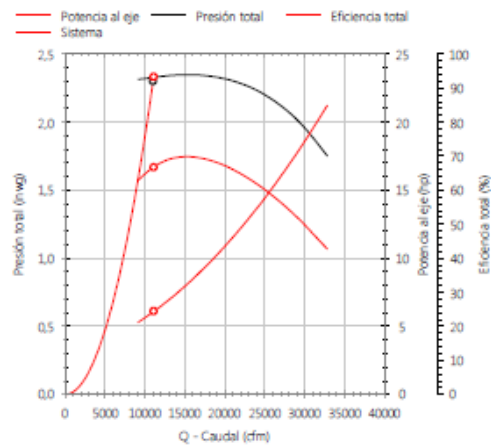
Número de Polos 4
 Potencia motor 7,5 Hp
 Tensión 3-208-230/460V-60Hz
 Intensidad máxima absorbida 18,1 A / 9,1 A
 Índice de protección IP54
 Clase motor B

Dimensiones



A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	No. de Puertas: 2
1726	1650	1800	2000	868	944	188	32	1199	226	

Curva



Características acústicas

	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Aspiración (LwA)	66	64	68	67	69	68	67	50	76
Aspiración LpA @ 1,5m	51	49	53	52	54	53	52	35	61
Descarga (LwA)	76	74	78	77	79	78	77	60	86
Descarga LpA @ 1,5m	61	59	63	62	64	63	62	45	71



ANEXO 4. Ficha técnica de equipo inyector centrífugo CDAH-30/28



CDAH

CDAH-30/28-5HP/4-350RPM-(208-230-3)



Unidades de ventilación diseñadas para la inyección y extracción de aire con opción en descarga horizontal o vertical **CDA**, su estructura está fabricada en lámina de acero galvanizada que la hacen un conjunto ideal para instalaciones en interperie, marca S&P, modelo CDAH-30/28-5HP/4-350rpm-(208-230-3), con caudal 11.789 cfm y presión 1,04 Inwg.

Punto requerido

Caudal	11.000 cfm
Presión total	1,00 Inwg
Temperatura	20 °C
Altitud	0 m
Densidad	1,2 Kg / m ³
Frecuencia	60 Hz

Punto de trabajo

Caudal	11.789 cfm
Presión estática	1,04 Inwg
Presión dinámica	0,110 Inwg
Presión total	1,15 Inwg
Eficiencia	69
Pot. Elect absorbida	3,71 hp
Rend Total	69,4 %
Potencia útil	3,08 Hp
Factor de Servicio Req	10
Rend Estático	62,8 %
Velocidad descarga	6,7 m/s
Velocidad aspiración	6,7 m/s
Velocidad ventilador	350 rpm
Potencia específica	0,46 W/s

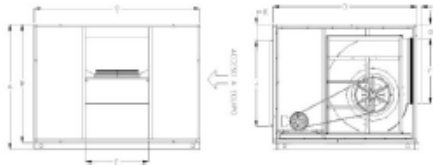
Construcción

Tamaño ventilador	30/28
Peso	573,82 kg

Características del motor

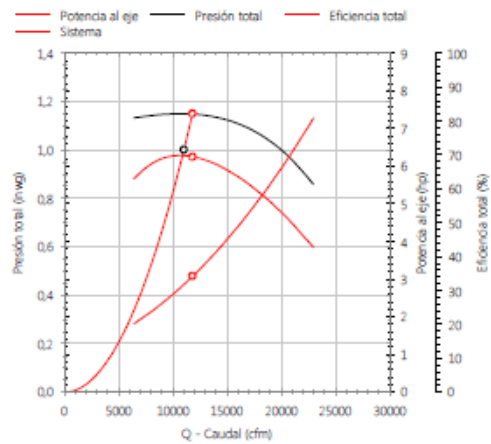
Número de Polos	4
Potencia motor	5 Hp
Tensión	3-208-230/460V-60Hz
Intensidad máxima absorbida	12,5 A / 6,3 A
Índice de protección	IP54
Clase motor	B

Dimensiones



A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	No. de Puertas: 2
1726	1650	1800	2000	868	944	188	32	1199	226	

Curva



Características acústicas

	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Aspiración (LwA)	61	59	63	62	64	62	62	45	71
Aspiración LpA @ 1,5m	46	44	48	47	49	48	47	30	56
Descarga (LwA)	71	69	73	72	74	72	72	55	81
Descarga LpA @ 1,5m	56	54	58	57	59	58	57	40	66

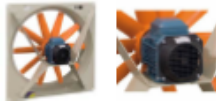


ANEXO 5. Ficha técnica de equipo axial HC-56-6M/H 2 600CFM



INFORME TÉCNICO DE DATOS
14/08/2021

HC-56-6M/H 60HZ



Ventiladores helicoidales murales, con motor IP55

Ventiladores helicoidales murales, con hélice de plástico reforzada en fibra de vidrio.

Ventilador:

- Marco soporte en chapa de acero.
- Hélice en poliamida 6 reforzada con fibra de vidrio.
- Rejilla de protección contra contactos según norma UNE-EN ISO 12499.
- Modelos 71, 80, 90 y 100: La rejilla de protección se suministra como accesorio.
- Dirección aire motor-hélice.

Motor:

- Motores con eficiencia IE3 para potencias iguales o superiores a 0,75 kW, excepto monofásicos, 2 velocidades y 8 polos.
- Motores clase F con rodamientos a bolas y protección IP55. Excepto modelos monofásicos desde el tamaño 45 hasta el tamaño 63, con protección IP54. De 1 ó 2 velocidades según modelo.
- Motor multitensión, diseño especial válido para: 220/380V 60 Hz, 254/440 V 60 Hz, 265/460V 60 Hz, 277/480 V 60 Hz.
- Temperatura de trabajo : -25 °C +60 °C.

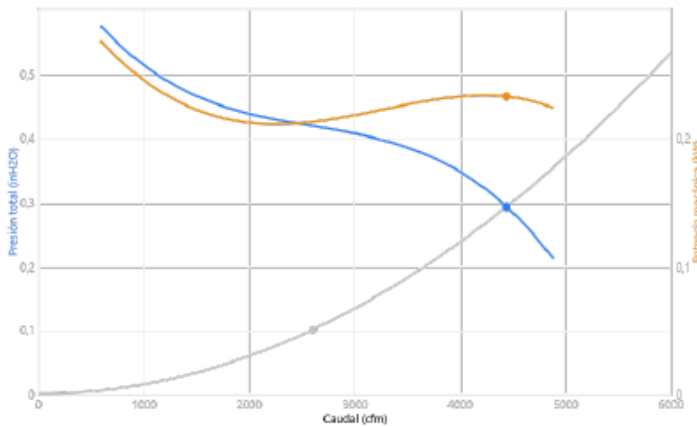
Acabado:

- Anticorrosivo en resina de poliéster polimerizada a 190 °C, previo desengrase con tratamiento nanotecnológico libre de fosfatos.

Bajo demanda:

- Conjunto motor, hélice y rejilla (versión F).
- Conjunto motor, hélice (versión G).
- Dirección aire hélice-motor.
- Bobinados especiales para diferentes tensiones.

CURVA CARACTERÍSTICA Y ACÚSTICA PARA 1,2KG/M³

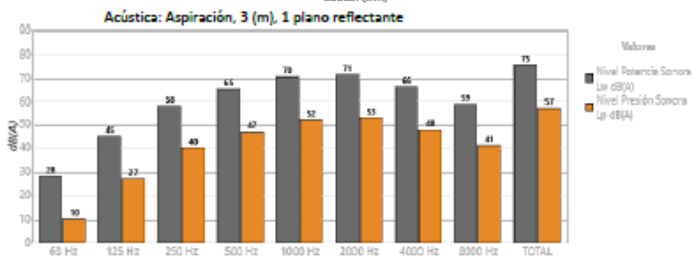


Punto Diseño

Q (cfm)	2600
Pt (inH2O)	0,1

Punto Servicio (PS)

Q (cfm)	4441
Pe (inH2O)	0,1169
Pd (inH2O)	0,1748
Pt (inH2O)	0,2917
Velocidad (rpm)	1080
Máx. Temp. (°C)	60
Velocidad salida aire (m/s)	8,52
Rendimiento (%)	65,76
SFP (kW/m ³ /s)	0,17
Potencia mecánica (kW)	0,2316



Banda	Lw dB(A)	Lp dB(A)
63 Hz	28	10
125 Hz	45	27
250 Hz	58	40
500 Hz	65	47
1000 Hz	70	52
2000 Hz	71	53
4000 Hz	66	48
8000 Hz	59	41
TOTAL	75	57



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Caudal máximo (cfm)	4890
Velocidad (rpm)	1080
Presión estática máxima (inH2O)	0,57
Presión total máxima (inH2O)	0,5731

DATOS DEL MOTOR

Potencia Mecánica Nominal (kW)	0,37
Hz/fases	60/1
Motor (rpm)	1080
Polos	6P
Corriente máx. (A) 220-277 V	2,69
Protección del motor	IP55
Tamaño del bastidor del motor	80

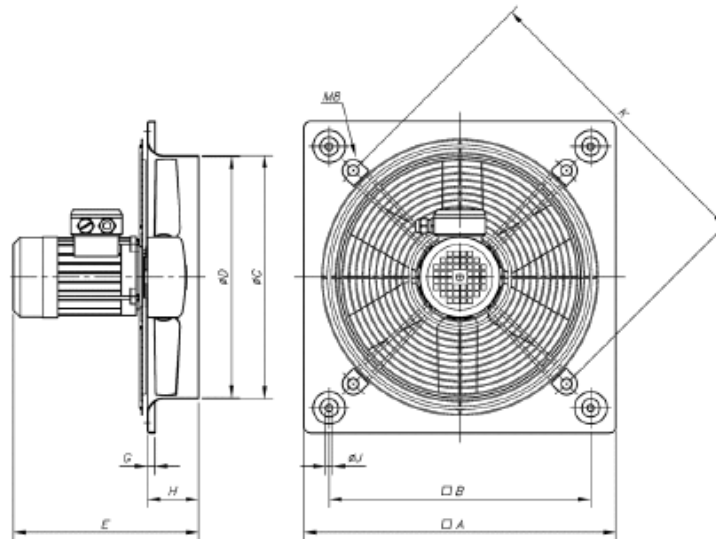
Los datos pueden cambiar, por favor consulte la placa del motor

DIMENSIONES

A	B	C	D	E	G	H	J	K
710	630	563	560	351	15	115	10,5	721

Las dimensiones sin unidades definidas explícitamente se muestran en milímetros (mm). Dimensiones dependientes del motor son aproximadas

Peso aprox. (kg)	19
------------------	----



ACCESORIOS DISPONIBLES



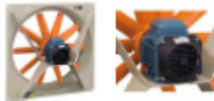
Se debe comprobar que el accesorio es adecuado para el modelo de ventilador

ANEXO 6. Ficha técnica de equipo axial HC-56-6M/H 2 800CFM



INFORME TÉCNICO DE DATOS
14/08/2021

HC-56-6M/H 60HZ



Ventiladores helicoidales murales, con motor IP55
Ventiladores helicoidales murales, con hélice de plástico reforzada en fibra de vidrio.

Ventilador:

- Marco soporte en chapa de acero.
- Hélice en poliamida 6 reforzada con fibra de vidrio.
- Rejilla de protección contra contactos según norma UNE-EN ISO 12499.
- Modelos 71, 80, 90 y 100: La rejilla de protección se suministra como accesorio.
- Dirección aire motor-hélice.

Motor:

- Motores con eficiencia IE3 para potencias iguales o superiores a 0,75 kW, excepto monofásicos, 2 velocidades y 8 polos.
- Motores clase F con rodamientos a bolas y protección IP55. Excepto modelos monofásicos desde el tamaño 45 hasta el tamaño 63, con protección IP54. De 1 ó 2 velocidades según modelo.
- Motor multitensión, diseño especial válido para: 220/380V 60 Hz, 254/440 V 60 Hz, 265/460V 60 Hz, 277/480 V 60 Hz.
- Temperatura de trabajo: -25 °C +60 °C.

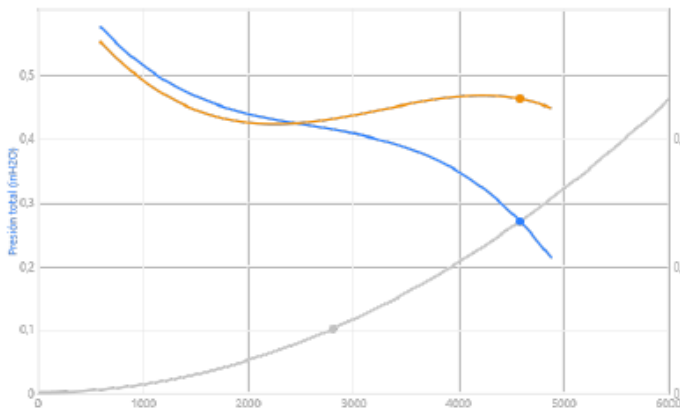
Acabado:

- Anticorrosivo en resina de poliéster polimerizada a 190 °C, previo desengrase con tratamiento nanotecnológico libre de fosatos.

Bajo demanda:

- Conjunto motor, hélice y rejilla (versión F).
- Conjunto motor, hélice (versión G).
- Dirección aire hélice-motor.
- Bobinados especiales para diferentes tensiones.

CURVA CARACTERÍSTICA Y ACÚSTICA PARA 1,2KG/M³

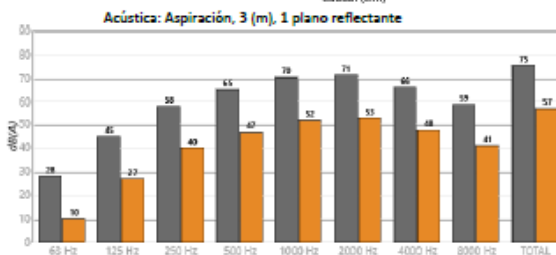


Punto Diseño

Q (cfm)	2800
Pt (inH2O)	0,1

Punto Servicio (PS)

Q (cfm)	4586
Pe (inH2O)	0,0618
Pd (inH2O)	0,1865
Pt (inH2O)	0,2683
Velocidad (rpm)	1080
Máx. Temp. (°C)	60
Velocidad salida aire (m/s)	8,798
Rendimiento (%)	62,93
SFP (kW/m ² /s)	0,1634
Potencia mecánica (kW)	0,2298



Banda	Lw dB(A)	Lp dB(A)
63 Hz	28	10
125 Hz	45	27
250 Hz	58	40
500 Hz	65	47
1000 Hz	70	52
2000 Hz	71	53
4000 Hz	66	48
8000 Hz	59	41
TOTAL	75	57



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Caudal máximo (cfm)	4880
Velocidad (rpm)	1080
Presión estática máxima (inH2O)	0,57
Presión total máxima (inH2O)	0,5731

DATOS DEL MOTOR

Potencia Mecánica Nominal (kW)	0,37
Hz/fases	60/1
Motor (rpm)	1080
Polos	6P
Corriente máx. (A) 220-277 V	2,69
Protección del motor	IP55
Tamaño del bastidor del motor	80

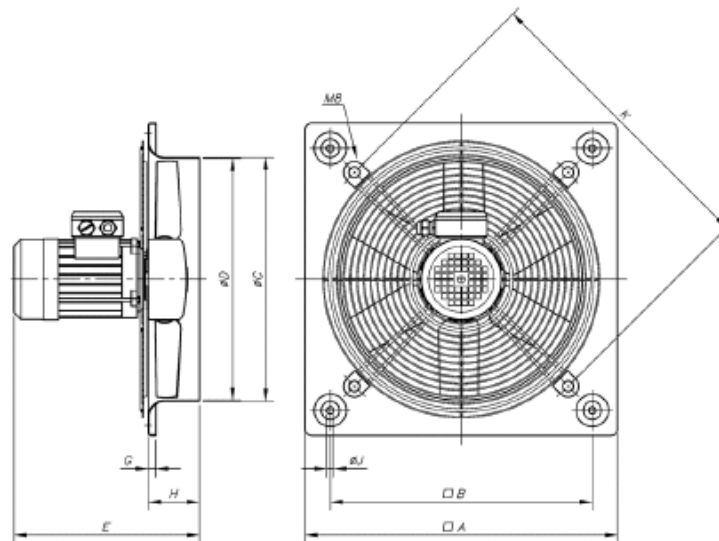
Los datos pueden cambiar, por favor consulte la placa del motor

DIMENSIONES

A	B	C	D	E	G	H	J	K
710	630	563	560	351	15	115	10,5	721

Las dimensiones sin unidades definidas explícitamente se muestran en milímetros (mm). Dimensiones dependientes del motor son aproximadas

Peso aprox. (kg)	19
------------------	----



ACCESORIOS DISPONIBLES



Se debe comprobar que el accesorio es adecuado para el modelo de ventilador

ANEXO 7. Ficha técnica de rejilla de inyección 560 cfm



TSR-4.0 (01/21)

Fecha: 31/07/2021 18:26:09

Proyecto: -
Zona: -
Cliente: -
Referencia: -
Realizado por:

REJILLA DE IMPULSIÓN 20-DH/DV

Modelo: 20-DH 460 x 250

Descripción: Rejilla de doble deflexión, marca KOOLAIR, modelo 20-DH de 460 x 250 mm, para impulsión de aire con aletas horizontales y verticales orientables individualmente, puede incorporar compuerta de regulación, accesorio de fijación a determinar, y plenum de conexión lateral/frontal.

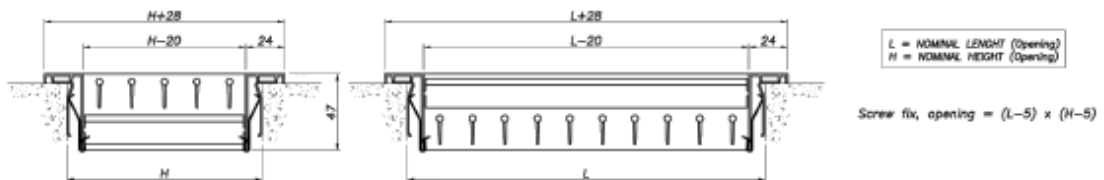


Q ₀ (m ³ /h)		REJILLA DE IMPULSIÓN 20-DH/DV	
m ³ /h	l/s	Tamaño	460 x 250
952	264,4	Aifa	0
		A _e (m ²)	0,0598
		V _e (m/s)	4,4
		X (m)	7,3
		ΔP (Pa)	7,8
		Lw _a [dB(A)]	32,0

Leyendas

Q ₀ (m ³ /h)	Caudal de aire
α (°)	Inclinación de aletas (0° y -30°)
A _e (m ²)	Área efectiva
V _e (m/s)	Velocidad efectiva
X (m)	Alcance horizontal para una velocidad media terminal de 0,5 m/s.
ΔP (Pa)	Pérdida de carga
Lw _a [dB(A)]	Nivel de potencia sonora

Dimensiones



ANEXO 8. Ficha técnica de rejilla de inyección 650 cfm



TSR-4.0 (01/21)

Fecha: 01/08/2021 0:29:36

Proyecto: -
Zona: -
Cliente: -
Referencia: -
Realizado por: -

REJILLA DE IMPULSIÓN 20-DH/DV

Modelo: 20-DH 600 x 250

Descripción: Rejilla de doble deflexión, marca KOOLAIR, modelo 20-DH de 600 x 250 mm, para impulsión de aire con aletas horizontales y verticales orientables individualmente, puede incorporar compuerta de regulación, accesorio de fijación a determinar, y plenum de conexión lateral/frontal.

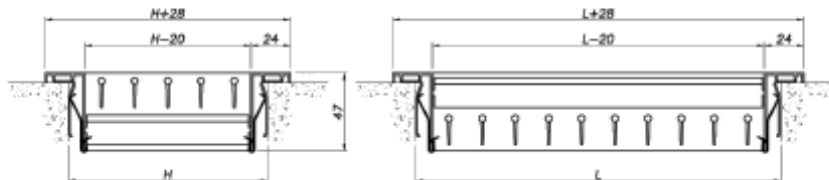


Q ₀ (m ³ /h)		REJILLA DE IMPULSIÓN 20-DH/DV	
m ³ /h	l/s	Tamaño	600 x 250
1105	306,9	Alfa	-30
		A _e (m ²)	0,0780
		V _e (m/s)	3,9
		X (m)	5,9
		ΔP (Pa)	7,4
		Lw _A [dB(A)]	32,4

Leyendas

Q ₀ (m ³ /h)	Caudal de aire
α (°)	Inclinación de aletas (0° y -30°)
A _e (m ²)	Área efectiva
V _e (m/s)	Velocidad efectiva
X (m)	Alicance horizontal para una velocidad media terminal de 0,5 m/s.
ΔP (Pa)	Pérdida de carga
Lw _A [dB(A)]	Nivel de potencia sonora

Dimensiones



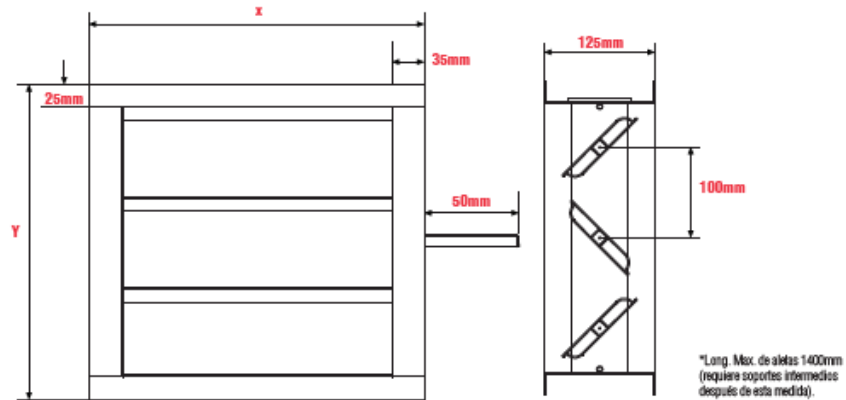
L = NOMINAL LENGTH (Opening)
H = NOMINAL HEIGHT (Opening)

Screw fix, opening = (L-5) x (H-5)

ANEXO 9. Ficha técnica de d mper de gravedad Soler&Palau

Características TÉCNICAS

DIMENSIONES GENERALES



�rea efectiva (ft ²)	"X" LARGO DAMPER (m)											
	6	10	18	26	30	38	42	50	54	62	66	
ALTIMA DAMPER (m)	6	0.10	0.22	0.46	0.71	0.83	1.07	1.19	1.43	1.55	1.78	1.88
	10	0.19	0.42	0.88	1.34	1.57	2.03	2.80	3.37	2.98	3.34	3.57
	18	0.36	0.81	1.71	2.61	3.08	3.98	4.95	5.95	5.78	6.50	6.95
	26	0.54	1.21	2.55	3.89	4.58	5.89	7.10	8.54	8.57	9.67	10.34
	30	0.68	1.41	2.97	4.52	5.30	6.86	8.17	9.84	9.97	11.28	12.03
	38	0.81	1.81	3.80	5.79	6.79	8.78	10.32	12.42	12.77	14.42	15.42
	42	0.90	2.00	4.22	6.43	7.54	9.75	11.39	13.71	14.17	16.00	17.11
	50	1.07	2.40	5.05	7.70	9.03	11.87	13.54	16.29	16.97	19.17	20.49
	54	1.16	2.60	5.47	8.34	9.77	12.84	14.61	17.59	18.38	20.75	22.18
	62	1.34	2.99	6.30	9.61	11.26	14.57	16.76	20.18	21.18	23.92	25.57
	66	1.48	3.19	6.72	10.25	12.01	15.53	17.83	21.47	22.59	25.50	27.27



Soler y Palau S.A. de C.V. Certifica que los Dampers Estándar, han sido aprobados para contar con el sello de certificación AMCA. Los valores mostrados fueron obtenidos en procedimientos y pruebas de acuerdo a la publicación AMCA 511 y han cumplido con los requerimientos del programa de certificación AMCA. AMCA sólo certifica los datos mostrados en Air Performance y Air Leakage.

Soler y Palau S.A. de C.V. Certifies that the standard Damper shown herein is licensed to bear the AMCA Seal. The ratings shown are based on tests and procedures performed in accordance with AMCA Publication 511 and comply with the requirements of the AMCA Certified program.

The AMCA Certified Rating Seal applies to Air Performance and Air Leakage rating only.

Air Leakage is based on operation between temperatures of 0 – 49°C (32 – 120 °F).

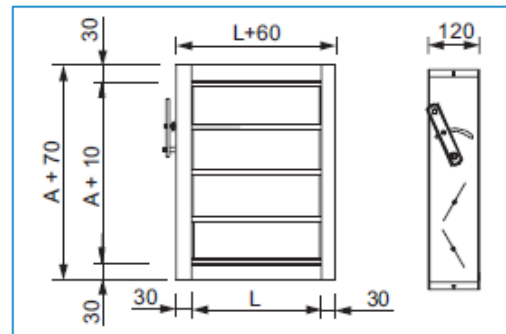
ANEXO 10. Ficha técnica de dámper motorizado Salvador Escoda

02 COMPUERTAS DE AIRE



Las compuertas de aire Escoclima han sido diseñadas para regular el caudal de aire y la presión en las instalaciones de ventilación, calefacción y aire acondicionado.

Con accionamiento manual o motorizado.



Dimensiones CAA

COMPUERTAS "CAA"

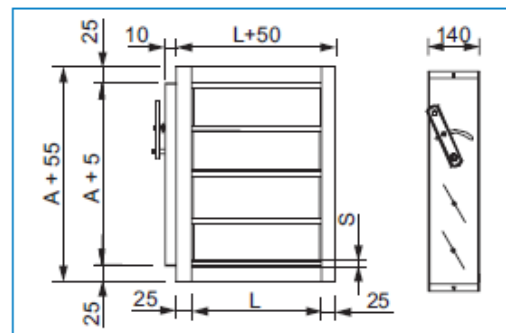
Características técnicas:

- 1) Marco de aluminio extruido en forma de "U".
- 2) Lamas paralelas de 100 mm en aluminio extruido.
- 3) Eje de acero.
- 4) Transmisión por engranaje plástico, situado en la parte interior de la compuerta.

COMPUERTAS "CEA"

Características técnicas:

- 1) Marco de chapa galvanizada en forma de "U" de 1,2 mm.
- 2) Lamas paralelas de 120 mm en acero galvanizado de 0,8 o 1 mm según medida.
- 3) Eje de acero zincado.
- 4) Placa de protección del sistema de transmisión en acero galvanizado.
- 5) Casquillos de PVC.
- 6) Transmisión por vielas metálicas, situadas en la parte exterior de la compuerta, para evitar suciedad en la transmisión.

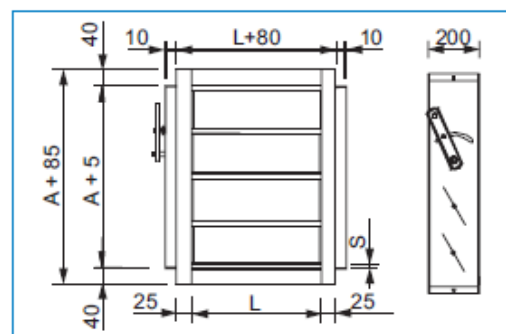


Dimensiones CEA

COMPUERTAS "CEB"

Características técnicas:

- 1) Marco de chapa galvanizada en forma de "U" de 1,2 mm.
- 2) Lamas paralelas de 190 mm en acero galvanizado de 1 o 1,2 mm según medida.
- 3) Eje pasante con doble mecanismo (uno en cada lado).
- 4) Placa de protección del sistema de transmisión en acero galvanizado.
- 5) Casquillos de PVC.
- 6) Transmisión por vielas metálicas, situadas en la parte exterior de la compuerta, para evitar suciedad en la transmisión.



Dimensiones CEB

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE

$$N = \frac{A \times L}{1.000.000}$$

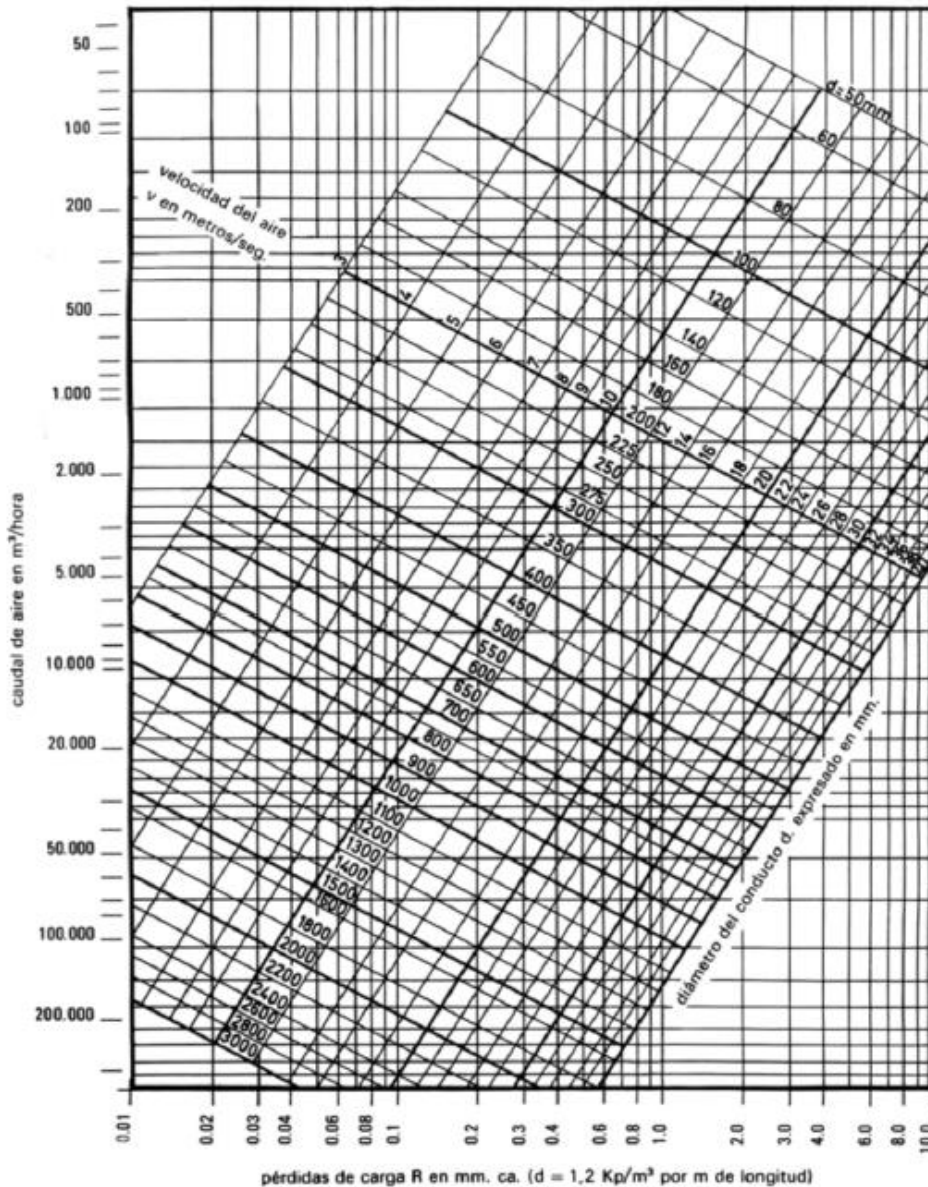
N = Área libre (m²), V = m/s, Q = m³/h

$$V = \frac{Q}{N \times 3600}$$

Velocidad aire recomendada: Vmínima: 3 m/s. Vmáxima: 7 m/s

ANEXO 11. Ábaco de pérdida de presión en ductos de aire

PÉRDIDA DE PRESIÓN EN LOS CONDUCTOS DE AIRE (en conducto circular de chapa)



Nota: Si los conductos por los que circula el aire están contruados en otro material distinto a la chapa, la pérdida de carga viene incrementada en los siguientes porcentajes:

- | | | | |
|----------------------------------|-----------|---------------------------|------------|
| • Tubo cemento amianto (Uralita) | 25 % | • Tubo de plástico rígido | 0 % |
| • Albañilería en plafones | 25 a 50 % | • Albañilería bruta | 50 a 100 % |

CONDUCCIÓN DE AIRE

ANEXO 12. Norma ASHRAE (Handbook Chapter 15)

15.20

Table 8 Predicted CO Emissions in Parking Garages

Season	Hot Emission (Stabilized), g/min		Cold Emission, g/min	
	1991	1996	1991	1996
Summer, 32°C	2.54	1.89	4.27	3.66
Winter, 0°C	3.61	3.38	20.74	18.96

Results from EPA MOBILE3, version NYC-2.2 (1984), sea level location.
Note: Assumed vehicle speed is 8 km/h.

Step 1. Collect the following data:

- Number of cars N in operation during peak hour use
- Average CO emission rate E for a typical car, g/h
- Average length of operation and travel time θ for a typical car, s
- Acceptable CO concentration CO_{max} in the garage, ppm
- Total floor area of parking facility A_f , m^2

Step 2. Evaluate CO generation rate:

(1) Determine the peak CO generation rate per unit floor area G , in $g/(h \cdot m^2)$, for the parking garage:

$$G = NE/A_f \quad (16)$$

(2) Normalize the peak CO generation rate using the reference value $G_0 = 26.7 \text{ g/(h} \cdot \text{m}^2)$ and Equation (17). This reference value is based on an actual enclosed parking facility (Krarti and Ayari 1998):

$$f = 100G/G_0 \quad (17)$$

Step 3. Determine the minimum required ventilation rate Q per unit floor area using Figure 14, or the correlation presented by Equation (18), depending on CO_{max} :

$$Q = Cf\theta \quad (18)$$

where

$$C = 1.204 \times 10^{-6} \text{ (m}^3/\text{s)(m}^2/\text{s)} \text{ for } CO_{max} = 15 \text{ ppm}$$

$$= 0.692 \times 10^{-6} \text{ (m}^3/\text{s)(m}^2/\text{s)} \text{ for } CO_{max} = 25 \text{ ppm}$$

$$= 0.481 \times 10^{-6} \text{ (m}^3/\text{s)(m}^2/\text{s)} \text{ for } CO_{max} = 35 \text{ ppm}$$

Example 1. Consider a two-level enclosed parking garage with a total capacity of 450 cars, a total floor area of 8360 m^2 , and an average height of 2.75 m . The total length of time for a typical car operation is 2 min (120 s) . Determine the required ventilation rate for the enclosed parking garage in $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ and in air changes per hour so that the CO level never exceeds 25 ppm . Assume that the number of cars in operation during peak use is 40% of the total vehicle capacity.

Solution:

Step 1. Garage data:

$$N = 450 \times 0.4 = 180 \text{ cars}$$

$$E = 11.67 \text{ g/min} = 700 \text{ g/h, the average of all values of emission rate for a winter day, from Table 8}$$

$$CO_{max} = 25 \text{ ppm}$$

$$\theta = 120 \text{ s}$$

Step 2. Calculate the normalized CO generation rate:

$$G = (180 \times 700 \text{ g/h})/8360 \text{ m}^2 = 15.1 \text{ g/(h} \cdot \text{m}^2)$$

$$f = 100 \times (15.1 \text{ g} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2})/26.7 \text{ g/(h} \cdot \text{m}^2) = 56.6$$

Step 3. Determine the ventilation requirement, using Figure 14 or the correlation of Equation (18) for $CO_{max} = 25 \text{ ppm}$.

$$Q = 0.692 \times 10^{-6} \text{ (m}^3/\text{s)(m}^2/\text{s)} \times 56.6 \times 120 \text{ s}$$

$$= 0.0047 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$$

Or, for air changes per hour,

$$(0.0047 \text{ m}^3/\text{s})/\text{m}^2 \times 3600 \text{ s/h}/2.74 \text{ m} = 6.2$$

2011 ASHRAE Handbook—HVAC Applications (SI)

Notes:

1. If the average vehicle CO emission rate is reduced to $E = 6.60 \text{ g/min}$, because of, for instance, better emission standards or better maintained cars, the required minimum ventilation rate decreases to $0.0027 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ or 3.5 ach .

2. Once calculations are made and a decision reached to use CO demand ventilation control, increasing airflow through a safety margin does not increase operating costs; larger fans work for shorter periods to sweep the garage and maintain satisfactory conditions.

CO Demand Ventilation Control. Whether mechanical, natural, or both, a parking garage ventilation system should meet applicable codes and maintain acceptable contaminant levels. If permitted by local codes, the ventilation airflow rate should be varied according to CO levels to conserve energy. For example, the ventilation system could consist of multiple fans, with single- or two-speed motors, or variable-pitch blades. In multilevel parking garages or single-level structures of extensive area, independent fan systems with individual controls are preferred. The *International Mechanical Code (ICC 2009a)* allows ventilation system operation to be reduced from 0.00375 to $0.00025 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ with the use of a CO monitoring system that restores full ventilation when CO levels of 29 mg/m^3 (25 ppm) are detected.

Figure 15 shows the maximum CO level in a tested parking garage (Krarti and Ayari 1998) for three car movement profiles (Figure 16) and the following ventilation control strategies:

- Constant-volume (CV), where the ventilation system is kept on during the entire occupancy period
- On/off control, with fans stopped and started based on input from CO sensors
- Variable-air-volume (VAV) control, using either two-speed fans or axial fans with variable-pitch blades, based on input from CO sensors

Figure 15 also shows typical fan energy savings achieved by on/off and VAV systems relative to constant-volume systems. Significant fan energy savings can be obtained using a CO-based demand ventilation control strategy to operate the ventilation system, maintaining CO levels below 29 mg/m^3 (25 ppm). Wear and tear and maintenance on mechanical and electrical equipment are reduced with a CO-based demand strategy.

Figure 16 is based on maintaining a 29 mg/m^3 (25 ppm) CO level. With most systems, actual energy usage is further reduced if 40 mg/m^3 (35 ppm) is maintained.

In cold climates, the additional cost of heating makeup air is also reduced with a CO-based demand strategy. Energy stored in the mass of the structure usually helps maintain the parking garage air temperature at an acceptable level. If only outside air openings are used to draw in ventilation air, or if infiltration is allowed, the stored energy is lost to the incoming cold air.

Ventilation System Configuration. Parking garage ventilation systems can be classified as supply-only, exhaust-only, or combined. Regardless of which system design is chosen, the following elements should be considered in planning the system configuration:

- Accounting for the contaminant level of outside air drawn in for ventilation
- Avoiding short-circuiting supply air
- Avoiding a long flow field that allows contaminants to exceed acceptable levels at the end of the flow field
- Providing short flow fields in areas of high contaminant emission, thereby limiting the extent of mixing
- Providing efficient, adequate airflow throughout the structure
- Accounting for stratification of engine exhaust gases when stationary cars are running in enclosed facilities

Other Considerations. Access tunnels or long, fully enclosed ramps should be designed in the same way as road tunnels. When

ANEXO 13. Reglamento Nacional de Edificaciones

b) 54m³ por hora, como mínimo para cada lámpara de Xenón, o no menos que lo recomendado por el fabricante, para mantener una temperatura de operación en el alojamiento de la lámpara, no mayor de 54°C.

c) Cumplir lo establecido en el numeral 3.3 del artículo 3 de la presente norma técnica, en todo cuanto sea aplicable.

14.6 En baños, se deben cumplir las siguientes disposiciones:

14.6.1 Todos los cuartos de baño, duchas y servicios sanitarios similares, en caso incluyan un sistema de ventilación mecánica, deben ser dotados de un sistema de extracción mecánica, que produzca una renovación de aire cada tres (03) minutos; salvo que el aire de ventilación sea acondicionado, en cuyo caso, se requiere como mínimo una renovación de aire cada siete y medio minutos. La recirculación de aire, no está permitida en tales ambientes.

14.6.2 La ventilación mecánica en baños públicos o servicios higiénicos para el público, se debe efectuar mediante un sistema de extracción que descargue al exterior de la edificación.

14.6.3 Cumplir lo establecido en el numeral 3.3 del artículo 3 de la presente norma técnica, en todo cuanto sea aplicable.

14.7 En bóvedas y cuartos de máquina, se deben cumplir las siguientes disposiciones:

14.7.1 La ventilación de bóvedas y cuartos de máquinas ubicadas en sótanos, requiere como mínimo de una renovación de aire cada tres (03) minutos durante los periodos de ocupación humana, salvo que estén dotados de ventilación permanente.

14.7.2 Cumplir lo establecido en el numeral 3.3 del artículo 3 de la presente norma técnica, en todo cuanto sea aplicable.

14.8 En edificaciones con uso diferente a estacionamientos y que se ubiquen en sótanos, se deben cumplir las siguientes disposiciones:

14.8.1 Contar con un sistema de extracción de humos por medio de ventilación mecánica.

14.8.2 El proyecto debe sustentarse mediante una simulación por medio de un modelamiento matemático apoyado en un software o en estudios logarítmicos, a fin de tener la mejor configuración para la extracción del humo e inyección de aire fresco, que permita elevar la altura del humo y se facilite la rápida evacuación de las personas que se encuentran en el interior.

14.8.3 Cumplir lo establecido en el numeral 3.3 del artículo 3 de la presente norma técnica, en todo cuanto sea aplicable.

14.9 En estacionamientos (incluye el área de circulación), se deben cumplir las siguientes disposiciones:

14.9.1 En todas las edificaciones empleadas para estacionamiento o manejo de automóviles operando con su propio motor, se debe proveer de una ventilación que produzca como mínimo una renovación de aire cada 12 minutos, 12m³/h.m² y una concentración máxima de 50 ppm. El Proyectista debe presentar los tres (03) cálculos respectivos y optar por el valor mayor.

14.9.2 En estacionamientos ubicados en primer nivel o niveles superiores, así como en semisótanos, se puede diseñar un sistema de ventilación natural cruzada, solo cuando el Proyectista sustente que la ventilación natural es suficiente y cumple con el valor mayor de provisión de ventilación mecánica según lo indicado en el sub numeral 14.9.1 del numeral 14.9 del artículo 14 de la presente norma técnica, de lo contrario debe utilizar ventilación mecánica.

14.9.3 En estacionamientos ubicados en sótanos.
a) Se debe cumplir con lo indicado en la Tabla N° 06.

Tabla N° 06

Condiciones de Diseño para Estacionamientos

Ubicación de estacionamiento	Ventilación Natural	Ventilación Mecánica
Primer sótano y segundo sótano	<p>Solo cuando se cumplan los siguientes requisitos:</p> <p>a. Proveer de una ventilación que produzca como mínimo una renovación de aire cada 12 minutos, 12m³/h.m² y una concentración máxima de 50 ppm. El Proyectista debe presentar los tres cálculos respectivos y optar por el valor mayor.</p> <p>b. La ventilación natural debe ser cruzada.</p> <p>c. Deben disponerse aberturas hacia el medio ambiente exterior por lo menos en dos muros opuestos, de tal forma que su reparto sea uniforme y que la distancia a lo largo del recorrido mínimo libre de obstáculos entre cualquier punto del local y la abertura más próxima a él sea como máximo igual a 25 m. Si la distancia entre las aberturas opuestas más próximas es mayor que 30 m debe disponerse otra equidistante de ambas hacia el medio ambiente exterior permitiéndose una tolerancia del 5%.</p> <p>d. El proyecto de ventilación debe sustentarse mediante una simulación por medio de un modelamiento matemático apoyado en un software o en estudios logarítmicos a fin de tener la mejor configuración para la extracción del humo e inyección de aire fresco que permita elevar la altura del humo y se facilite la rápida evacuación de las personas que se encuentran en el interior</p> <p>En caso contrario debe aplicarse ventilación mecánica</p>	
Tercer sótano y siguientes		Obligatorio el cumplimiento de lo indicado en la presente norma.

b) El sistema mecánico de impulsión de aire se debe instalar en la parte superior lo más cercano al techo, la ubicación de la extracción debe ser definida por el Proyectista.

c) Los gases producto de motores de combustión interna (equipos electrógenos, motobombas contra incendios, entre otros) deben descargar a una altura mínima de 3,00 m del nivel de la vereda y dentro de los retiros, siempre y cuando no afecte las edificaciones colindantes, caso contrario, optar por otra forma de descargue, debidamente sustentado.

d) Para el caso de estacionamientos en sótanos sin edificaciones en pisos superiores (estacionamientos públicos), la altura de descarga mínima debe ser de 3,00 m por encima del nivel del techo y el sistema de extracción debe contar con ductos de salida de gases que no afecte las edificaciones colindantes, la vía pública, ni a la propia edificación; en cuyo caso se usan filtros.

e) En estacionamientos en sótanos a partir de cinco (05) plazas o de 100 m² útiles, se debe contar con un sistema de detección de monóxido de carbono (CO) en cada planta o nivel, que active automáticamente el sistema de ventilación cuando se alcance una concentración de 50 p.p.m.

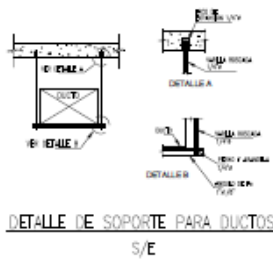
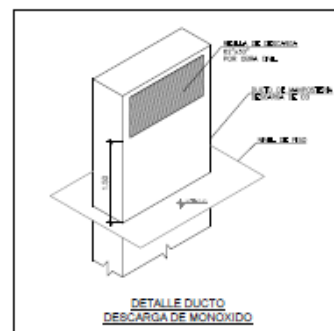
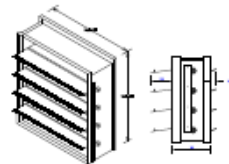
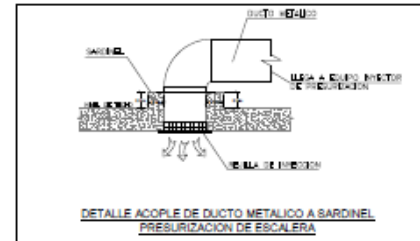
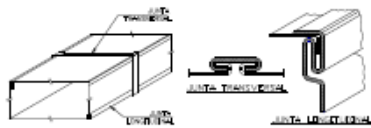
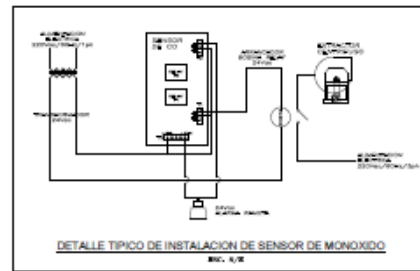
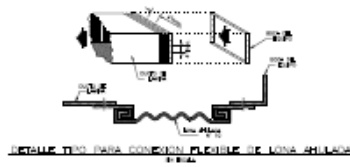
f) Se prohíbe que los sótanos o pisos estén comunicados entre sí por medio de pases o rejillas en los pisos.

g) Los ventiladores de impulsión, tales como los ventiladores tipo JET FAN, pueden ser utilizados como parte del sistema de ventilación y deben sustentarse por medio de un software especializado que no permita la recirculación de humos y gases.

ANEXO 19. Plano: Detalles y Cuadro de Equipos

TABLA DE CAPACIDAD DE LOS VENTILADORES Y EXTRACTORES

MODELO	CANT.	CAPACID. (CFM)	POTENCIA (hpig C.A.)	TIPO	TRANSMISIÓN	MOTOR	AMBIENTES QUE ACONDICIONA	UBICACIÓN MODELO
E-01	01	11,000	2.5	EXTRACTOR CON GABINETE	PALE Y POLA	0.54H-220V-1F-60Hz	MONTAÑE DE EXTRACCIÓN	SOTANO 1
E-02	01	11,000	1.0	EXTRACTOR CON GABINETE	PALE Y POLA	0.54H-220V-1F-60Hz	MONTAÑE DE EXTRACCIÓN	SOTANO 1
F-01	08	1,589	-	EXTRACTOR TUBULAR	EXACTA	0.18H-220V-1F-60Hz	EXTRACTORES	SOTANO 1, 2, 3 Y 4
E-03	03	2,800	0.1	AXIAL	EXACTA	0.54H-220V-1F-60Hz	EXTRACTORES	SOTANO 1, 2 Y 3
E-02	01	2,600	0.1	AXIAL	EXACTA	0.54H-220V-1F-60Hz	EXTRACTORES	SOTANO 1



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE MINAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA		ANEXO 19	
ESCALA: 1:50	FECHA: 2021	PLANO	INSTALACIONES MECÁNICAS DETALLES Y CUADRO DE EQUIPOS
DESIGNO: EDUARDO GARCIBUENO			
DIBUJO: EDUARDO GARCIBUENO			
DIVISIÓN: DEL MARTÍN DE ALAY FERRERREZ			
			LÁMINA IM06 DE 24