

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA ESTACIONAMIENTO
SUBTERRÁNEO DE CINCO NIVELES CON EXTENSIÓN DE 6850 M²**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico

AUTOR:

Jorge Javier Herrera Prado

ASESOR:

Enrique José Barrantes Peña

Lima, noviembre 2024

Informe de Similitud

Yo, Enrique José Barrantes Peña, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada:

Sistema de Ventilación para Estacionamiento Subterráneo de cinco niveles con extensión de 6850 m²

Del autor:

Jorge Javier Herrera Prado,

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 20%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 25/11/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: San Miguel, 25/11/2024

Apellidos y nombres del asesor: <u>Barrantes Peña, Enrique José</u>	
DNI: 07913376	Firma 
ORCID: 0000-0002-9037-3358	

RESUMEN

Esta tesis se centra en el diseño de un sistema de ventilación para un estacionamiento subterráneo de cinco niveles, que abarca una superficie de 6850 m², ubicado en un edificio comercial en San Isidro. El sistema de ventilación incluye dos sistemas de extracción equilibrados. El primero tiene como objetivo mantener la concentración de monóxido de carbono en los sótanos por debajo de 35 partes por millón. El segundo se encarga de la extracción de humos en caso de incendio, asegurando así rutas de evacuación seguras.

El sistema, tiene como principio la ventilación mixta, el cual presenta equipos electromecánicos de inyección y extracción. Los caudales son calculados según el método recomendado por ASHRAE, la norma UNE-23585 y se muestran en el capítulo dos de la presente tesis. Los equipos de inyección tienen un caudal de 4.72 m³/s, el caudal de extracción de humos es de 17.46 m³/s y el caudal de extracción de monóxido es de 9.77, 6.66, 6.88 y 7.60 m³/s por sótano respectivamente. Las dimensiones de los ductos se determinaron considerando la caída de presión por longitud (0.816 Pa/m o 0.1 in. WC/100 ft) y manteniendo la velocidad del aire por debajo del límite recomendado por expertos (1.52-2.03 m/s o 300-400 fpm). Con el cálculo del caudal y la caída de presión, se seleccionó los equipos de ventilación del proyecto. Para la inyección de aire se seleccionó 12 equipos axiales, para la extracción de monóxido y humos se seleccionó 2 equipos de flujo mixto. Para el traslado del aire contaminado hacia la mampostería de extracción de monóxido se seleccionó 39 equipos Jet Fans centrífugos. El diseño del sistema eléctrico se basó en el código nacional de electricidad del Perú, lo que permitió determinar las dimensiones de los conductos NH80, tuberías EMT y dispositivos eléctricos, entre otros, los cuales se detallan en el capítulo 2 de esta tesis.

Finalmente, en el capítulo 3 se expone el presupuesto del proyecto, que incluye el cálculo de los equipos necesarios para la implementación del sistema de ventilación, así como los costos de ingeniería, materiales e instalación. El costo total del proyecto se estima en 292,565 dólares, incluyendo el I.G.V.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TÍTULO	: SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA ESTACIONAMIENTO SUBTERRÁNEO DE CINCO NIVELES CON EXTENSIÓN DE 6850m ²
ÁREA	: ENERGÍA
PROPUESTO POR	: Ing. Manuel Humberto Azahuanche Asmat
ASESOR	: Ing. Enrique José Barrantes Peña
TESISTA	: Jorge Javier Herrera Prado
CÓDIGO	: 20155262
FECHA	: 17/04/2023

DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:

En los últimos años, se ha incrementado la demanda de estacionamientos subterráneos debido a la necesidad de maximizar el uso de espacios y a la importancia del valor de terreno. Sin embargo, esta alternativa de aparcamiento suele generar ambientes con muy baja calidad de aire y acumulación gases nocivos, debido a que no se cuenta con un flujo de aire natural que permita la correcta evacuación de los gases generados por los vehículos. En ese sentido, los estacionamientos subterráneos ventilados inadecuadamente representen un riesgo mortal para las personas debido a la absorción de gases por la sustitución de oxígeno en la sangre. Asimismo, existe la posibilidad de incendios y se requiere de sistemas de extracción de los gases hacia exterior de la edificación. Por lo expuesto, el presente proyecto tiene por objetivo definir las características técnicas y equipamiento de un sistema de ventilación de un estacionamiento subterráneo de una edificación comercial de 5 niveles con extensión de 6850 metros cuadrados. Para ello, se propone determinar el área de estudio, reconocer las normativas y regulaciones para el diseño de sistemas de ventilación, determinar el sistema que permita la extracción de aire contaminado al exterior, dimensionar los conductos de aire y seleccionar los equipos de ventilación necesarios. El alcance del trabajo comprenderá memorias de cálculo, lista de equipos de ventilación, planos y esquema de ingeniería y presupuesto económico.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

**SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA ESTACIONAMIENTO
SUBTERRÁNEO DE CINCO NIVELES CON EXTENSIÓN DE 6850m²**

Resumen

Introducción

1. Características del Proyecto
2. Diseño del Sistema de Ventilación
3. Presupuesto del Proyecto

Planos y Esquemas de Ingeniería.

Conclusiones

Bibliografía

Anexos

Ing. Enrique J. Barrantes P.
Asesor



Dedico mi tesis a mis padres, hermana y personas que me apoyaron ya que sin ustedes no lo podría haber logrado.

ÍNDICE

RESUMEN	i
TEMA DE TESIS.....	ii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE SÍMBOLOS	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	2
1.1. Características de los estacionamientos	2
1.2. Normativa de ventilación aplicable al proyecto	9
1.2.1. Norma nacional.....	9
1.2.2. Norma internacional.....	12
1.3. Características del aire y contaminantes.....	15
1.3.1. Contaminantes producidos por vehículos motorizados	17
1.3.2. Concentración máxima admisible.....	21
1.4. Sistema de ventilación:	24
1.4.1. Ventilación natural.....	25
1.4.2. Ventilación mecánica.....	25
1.4.3. Ventilación localizada.....	27
1.4.4. Ventilación por sobrepresión.....	28
1.4.5. Ventilación por depresión.....	29
1.5. Ventiladores	30
1.5.1. Tipos de ventiladores.....	31
1.6. Sistemas de control de monóxido de carbono	36
1.6.1. Sistema de control automático para sistemas de ventilación.....	37
CAPÍTULO 2	44
2.1. Tipo de sistema	44
2.2. Caudal de ventilación de monóxido de carbono	46
2.2.1. Métodos de cálculo de caudal de diseño.....	47
2.2.2. Cálculo del caudal de ventilación.....	51
2.3. Caudal de ventilación de humos de incendio	57

2.3.1.	Cálculo del caudal de ventilación de humos de incendio.....	58
2.4.	Sistema de ductos.....	60
2.4.1.	Fundamentos de diseño.....	60
2.4.2.	Caída de presión estática.....	67
2.4.3.	Procedimiento de diseño de ductos de HVAC.....	68
2.4.4.	Velocidad del aire.....	68
2.4.5.	Diseño de rejillas.....	70
2.4.6.	Dimensionamiento de ductos.....	71
2.5.	Selección de equipos.....	86
2.5.1.	Selección de ventiladores.....	86
2.5.2.	Selección del motor eléctrico.....	96
2.5.3.	Aislamiento de vibraciones.....	102
2.5.4.	Sensores de monóxido.....	104
2.6.	Diseño de la instalación eléctrica.....	106
2.6.1.	Distribución de los tableros eléctricos.....	106
2.6.2.	Dimensionamiento de los conductores.....	106
2.6.3.	Elementos de protección.....	116
2.6.4.	Sistema de control y potencia.....	122
CAPÍTULO 3	125
3.1.1.	Costo de ingeniería y recursos humanos.....	125
3.2.	Costos de equipos y materiales.....	126
3.3.	Costos de instalación.....	129
CONCLUSIONES	131
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características de los niveles de los sótanos	3
Tabla 1.2 Condiciones de diseño para estacionamientos	11
Tabla 1.3 Calor liberado de acuerdo con el modelo de incendio	13
Tabla 1.4 Concentraciones máximas de contaminantes en recintos cerrados	15
Tabla 1.5. Efectos dañinos a la salud de acuerdo con las concentraciones de monóxido.	20
Tabla 1.6. Concentraciones máximas admisibles para gases nocivos	23
Tabla 1.7 Concentraciones máximas de monóxido de carbono admisibles	24
Tabla 2.1 Renovaciones de aire para estacionamientos cerrados.....	47
Tabla 2.2. Caudal por sótano de acuerdo con el método de renovaciones por hora	48
Tabla 2.3. Caudales recomendados para estacionamientos cerrados	49
Tabla 2.4. Caudal por sótano de acuerdo con el método de caudal recomendado	49
Tabla 2.5 Porcentaje de vehículos en operación en un estacionamiento en hora punta ...	51
Tabla 2.6 Tasas de emisiones de CO en estacionamientos subterráneos (ER)	52
Tabla 2.7 Resultados de la recolección de información	54
Tabla 2.8 Resultados de la tasa de generación de CO normalizada	55
Tabla 2.9 Resultados del caudal mínimo de diseño	56
Tabla 2.10. Resultados de caudales de los tres métodos	56
Tabla 2.11 Diseño de estado estacionario de fuegos.....	57
Tabla 2.12 Determinación del caudal de humos.....	60
Tabla 2.13 Factores de rugosidad de conductos.....	65
Tabla 2.13 Factores de rugosidad de conductos(continuación).....	66
Tabla 2.14 Velocidades de aire en bocas de captación	69
Tabla 2.16 Selección de rejillas de inyección	70
Tabla 2.17 Cantidad y dimensiones de rejillas por nivel.....	71
Tabla 2.18 Parámetros de dimensionamiento de ductos	74
Tabla 2.19 Dimensionamiento de ductos	74
Tabla 2.20 Conversión de ducto circular a rectangular	76
Tabla 2.21 Cálculo de pérdidas por fricción	78
Tabla 2.22 Cálculo de las pérdidas totales	80
Tabla 2.23 Espesor de planchas recomendadas.....	81
Tabla 2.24 Cálculo del espesor y tipo de unión de los ductos	82
Tabla 2.25 Distancia máxima entre soportes.....	83

Tabla 2.26 Peso de los ductos del proyecto	84
Tabla 2.27 Determinación del número de Jet Fans de los sótanos	88
Tabla 2.28 Parámetros del Jet Fan seleccionado.....	92
Tabla 2.29 Parámetros del extractor de monóxido y humos seleccionado.....	93
Tabla 2.30 Parámetros de inyector de aire seleccionado.....	95
Tabla 2.31 Cálculo de potencia de los ventiladores	97
Tabla 2.32 Tiempo de aceleración máximo	97
Tabla 2.33 Cálculo del tiempo de aceleración de los motores	100
Tabla 2.34 Tipos de arranque de motores trifásicos.....	101
Tabla 2.35 Características del aislador anti vibratorio SP-R	103
Tabla 2.36 Parámetros de selección de sensores de monóxido de carbono	104
Tabla 2.37 Características del sensor de monóxido de carbono Optimal Controls	105
Tabla 2.38 Determinación de las secciones del conductor para motores.....	111
Tabla 2.39. Tiempo de trabajo estimado de los ventiladores por sótano	111
Tabla 2.40. Dimensionamiento de conductor principal.....	112
Tabla 2.41. Dimensionamiento de conductores por piso.....	113
Tabla 2.42. Dimensionamiento de conductores del subtablero a tablero de equipos	113
Tabla 2.43. Dimensionamiento de conductores del subtablero a tablero de equipos	114
Tabla 2.44. Caída de tensión admisible.....	114
Tabla 2.45. Caída de tensión para los conductos de tableros.....	115
Tabla 2.45. Caída de tensión para los conductos de tableros (continuación)	116
Tabla 2.46. Máximo porcentaje de llenado de conductos y tuberías eléctricas	117
Tabla 2.47. Dimensiones de las protecciones para los conductores	118
Tabla 2.48. Guardamotores seleccionados por equipo	119
Tabla 3.1 Costo total de ingeniería por el diseño del sistema de ventilación	126
Tabla 3.2 Costo total de equipos y dispositivos del sistema de ventilación	126
Tabla 3.3 Costo total de materiales para fabricación de sistema de ductos	127
Tabla 3.4 Costo total para el diseño del sistema eléctrico	128
Tabla 3.4 Costo total para el diseño del sistema eléctrico (continuación)	129
Tabla 3.5 tabla de salarios para el régimen de construcción civil	129
Tabla 3.6 Costo de instalación	130
Tabla 3.7 Costo total de instalación del proyecto	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de planta sótano 1 (36 estacionamientos, 1407 m ² , 5m de altura).....	4
Figura 1.2 Esquema de planta sótano 2 (67 estacionamientos, 1714 m ² , 2.8 m de altura) 5	
Figura 1.3 Esquema de planta sótano 3 (67 estacionamientos, 1771 m ² , 2.8m de altura) .6	
Figura 1.4 Esquema de planta sótano 4 (65 estacionamientos, 1954 m ² , 2.8 m de altura) 7	
Figura 1.5 Esquema de planta sótano 5 (8 estacionamientos, 634 m ² , 2.8 m de altura).....	8
Figura 1.6 Sistema de ventilación natural	25
Figura 1.7 Sistema de ventilación mecánica mixta	26
Figura 1.8 Sistema de extracción localizada.....	28
Figura 1.9 Ambiente con presión positiva con respecto a la atmosférica	29
Figura 1.10 Ambiente con presión negativa con respecto a la atmosférica	30
Figura 1.11 Rodete con álabes radiales.....	31
Figura 1.12 Rodete con álabes hacia atrás	32
Figura 1.13 Rodete con álabes hacia adelante.....	33
Figura 1.14 Ventilador de hélice.....	34
Figura 1.15 Ventilador tubo axial.....	34
Figura 1.16 Ventilador con aletas guía.....	35
Figura 1.17 Sistema de control de monóxido de carbono en estacionamientos.....	40
Figura 1.18 Sensor de monóxido de carbono	41
Figura 1.19 Controlador para sistemas de ventilación.....	42
Figura 1.20. Variadores de frecuencia ABB	43
Figura 2.1 Principio de ventilación general	45
Figura 2.2 Control de humos	57
Figura 2.4 Esquema de ductos nivel piso 9 (techo).....	77
Figura 2.5 Colgadores tipo trapecio	83
Figura 2.6 Diagrama de cuerpo libre del ducto de 64"x16" entre 2 colgadores	85
Figura 2.7 Posición de jet fans del sótano 1	89
Figura 2.8 Posición de jet fans del sótano 2,3 y 4	90
Figura 2.9 Posición de jet fans del sótano 5	91
Figura 2.10 Jet Fan centrífugo no tubular IFHT- 4- 50N.....	92
Figura 2.11 Extractor de flujo mixto QEI-300	94
Figura 2.12 Inyector 5HGB800H-HGB-800-1	95
Figura 2.13 Deflexión vs carga por muelle.....	102
Figura 2.14 Aislador anti vibratorio de muelle SP-R, extraído de AIRSUM	103

Figura 2.15 Sensor de monóxido COS-231M-RL-220.....	105
Figura 2.16. Partes de un conductor NH80.....	107
Figura 2.17. Conductores aislados dentro de un tubo sobre una pared (B1)	116
Figura 2.18. Guardamotor manual ABB MS 116	119
Figura 2.19. Interruptor termomagnético C120N 3P 100, extraído de Schneider Electric	120
Figura 2.20. Contactor AF09-30-10-4 ABB	121
Figura 2.21. Variador de frecuencia ABB ACS480-04-046A-4, extraído de ABB	122



LISTA DE SÍMBOLOS

	Descripción	Unidades
A_e	Área del estacionamiento	m^2
A_{tub}	Área de tubería EMT al 40% de porcentaje de llenado	mm^2
a	Longitud de un lado del conducto	mm
A_{ef}	Área efectiva del difusor	m^2
A_{cond}	Área de la sección del conductor	mm^2
b	Longitud del lado adyacente del conducto	mm
C	Correlación dependiente de $Comax$	$\frac{l}{s^2 * m^2}$
C_t	Factor de corrección por temperatura	-
C_p	Calor específico a presión constante	$\frac{kJ}{kg * K}$
C_{agr}	Factor de corrección por agrupación	-
C_e	Constante de espacio dependiente	-
$Comax$	Concentración máxima admisible de CO	ppm
D_{tub}	Diámetro de tubería EMT	mm
D_{cond}	Diámetro total de la sección del conductor	mm
D_j	Diámetro equivalente de la boca de descarga del Jet Fan	m
D_d	Diámetro del ducto	m
D_h	Diámetro hidráulico	mm
D_e	Diámetro circular equivalente al conducto rectangular	mm
ER	Tasa de emisión de CO promedio para un automovil por hora	g/h
f_g	Tasa de generación de monóxido normalizada	-
f	Factor de fricción	-
F	Fuerza de empuje	N
FP	Factor de potencia	-
FD	Factor de demanda	-
F_n	Frecuencia natural	Hz
GR	Tasa máxima generación de CO	$\frac{g}{h * m^2}$
g	Gravedad	m/s^2
GR_o	Tasa de generación de CO referencial	$\frac{g}{h * m^2}$
h_e	Altura de estacionamiento	m
H_j	Ancho de la boca de descarga del Jet Fan	m
I_t	Corriente de trabajo de la carga	A
I_{adm}	Capacidad de carga admisible	A

	Descripción	Unidades
Icorr	Capacidad de carga corregida	A
i	relación de transmisión	-
Jm	Inercia del motor	kg/m ²
Je	Inercia de la carga refererida al eje del motor	kg/m ²
Jcarga	Inercia de la carga	kg.m ²
L _j	Largo de la boca de descarga del Jet Fan	m
L _d	Longitud del ducto	m
Lm	Distancia entre equipos de inyección y extracción mecánica	m
Lcarga	Distancia de la carga al tablero	m
M _f	Flujo másico de humo	kg/s
nm	Eficiencia del motor	-
n2	Velocidad de rotación del ventilador	RPM
n1	Velocidad de rotación del motor	RPM
nf	Eficiencia de la faja de transmisión	-
nv	Eficiencia del ventilador	m/s ²
N _v	Número de automóviles en funcionamiento durante 1 hora de us	-
N _{VT}	Capacidad total de vehículos	-
N	Renovaciones por hora	rev/h
Pnom	Potencia nominal del motor	HP
Pm	Potencia entregada por el motor	kW
Pv	Potencia del ventilador	kW
Pang	Peso del ángulo metálico	kg
P _e	Perímetro de estacionamiento	m
Qv	Caudal del ventilador	l/s
Q _j	Caudal del Jet Fan elegido	m ³ /s
Q _{rej}	Caudal de inyección por rejilla	m ³ /s
Qc	Calor convectivo	kW
q	Caudal mínimo por unidad de área	$\frac{l}{s * m^2}$
Q _a	Caudal por área	$\frac{m^3}{h * m^2}$
Q _m	Caudal de diseño de CO	m ³ /h
Re	Número de Reynolds	-
Spn	Superficie de ventilació normal	m ²
S _j	Sección transversal de la boca de descarga del Jet Fan	m ²
Trb	Tiempo de rotor bloqueado	seg
Tv	Torque del ventilador	kgf.m

	Descripción	Unidades
T_p	Torque de rotor bloqueado o de arranque	kgf.m
$T_{m\acute{a}x}$	Torque máximo	kgf.m
T_n	Torque nominal	kgf.m
T_{med}	Torque de motor medio	N.m
T_{rmed}	Torque resistente medio	N.m
T_a	Tiempo de aceleración	seg
T_o	Temperatura ambiente a 20 grados	K
T_f	Temperatura promedio de humos	K
T_{op}	Tiempo de operación promedio para vehículos de estacionamiento	seg
U	Tensión	V
V_j	Velocidad de salida del Jet Fan	m/s
V_{rej}	Velocidad de inyección por rejilla	m/s
v_a	Velocidad del aire	m/s
V_f	Volumen de humo por segundo de aire de extracción	m ³ /s
V_{hp}	Porcentaje de vehículos operando en hora punta	%
V_e	Volumen del estacionamiento	m ³
V_i	Velocidad inducida	m/s
ω	Velocidad angular del ventilador	rad/seg
W_d	Ancho del dardo	m
Y	Altura desde la base de fuego hasta la capa de humo	m
$\Delta U\%$	Caída de tensión	-
Δp_e	Caída de presión por fricción	Pa
Δp_d	Caída de presión dinámica	Pa
Δp	Caída de presión total	Pa
ϵ	Rugosidad absoluta del material del conducto	mm
μ	Viscosidad dinámica del fluido	kg/(m*s)
ρ_f	Densidad del fluido	$\frac{kg}{m^3}$
ρ_o	Densidad del ambiente a temperatura de 20 grados	$\frac{kg}{m^3}$

INTRODUCCIÓN

El auge inmobiliario ha llevado a que muchos terrenos, antes utilizados como estacionamientos, se destinen a la construcción de edificios, lo que ha provocado una escasez de espacios debido al aumento en el número de vehículos. Esto generó la necesidad de contar con sistemas de estacionamientos subterráneos, los cuales han podido mejorar esta situación. Sin embargo, estos ambientes están sujetos a proporcionar mala calidad de aire interior debido a que no hay flujo de aire natural.

Uno de los problemas más importantes en los estacionamientos subterráneos es la elevada concentración de monóxido de carbono producido por los vehículos, ya que no existe una circulación de aire adecuada que permita remover el aire contaminado. Además, existe la posibilidad de un incendio en el estacionamiento que tendría consecuencias fatales para la salud de las personas. Esto amerita el uso de tecnología de sistemas de ventilación mecánica dentro de estas áreas para obtener concentraciones mínimas de monóxido de carbono, garantizar la extracción de humos de incendio y lograr rutas de evacuación seguras. Esto para evitar problemas de salud en las personas que transitan en estos ambientes.

En ese sentido, esta tesis tiene como objetivo diseñar un sistema de ventilación para estacionamiento subterráneo de cinco niveles con extensión de 6850 m². Esta área es aproximada ya que el cálculo detallado de la superficie da como resultado 6846 m². Los objetivos específicos son los siguientes:

- Determinar el sistema que permita la extracción del aire contaminado y del que se genere en un incendio hacia el exterior del edificio.
- Calcular el caudal de aire requerido para mantener la concentración de monóxido de carbono por debajo del límite permitido por las normativas.
- Determinar el caudal de extracción de humos de incendio.
- Seleccionar equipos que garanticen un funcionamiento eficiente del sistema diseñado.
- Elaborar los planos y esquemas de ingeniería para el proyecto.

CAPÍTULO 1

CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

La investigación contempla la construcción de un estacionamiento subterráneo que abarca cinco niveles y será parte de un edificio comercial ubicado en el distrito de San Isidro, perteneciente a la provincia y departamento de Lima, en Perú. Este edificio consta de un total de ocho niveles superiores, de los cuales el primero será destinado a locales comerciales como restaurantes, mientras que los demás niveles estarán diseñados para oficinas. Estas oficinas incluirán espacios complementarios como salas de usos múltiples (SUM), directorios y comedores, garantizando un entorno funcional y adecuado para sus usuarios. Los cinco niveles subterráneos serán utilizados exclusivamente como estacionamientos, optimizando el espacio disponible para cubrir las necesidades vehiculares del edificio.

En el diseño y cálculo de este proyecto, se ha considerado una temperatura exterior promedio de 20 °C, acorde con las condiciones climáticas típicas de Lima, Perú. Este valor se utiliza como referencia en los análisis técnicos para garantizar que las soluciones propuestas sean adecuadas a las condiciones ambientales locales. Asimismo, el desarrollo del proyecto seguirá estrictamente las normativas y procedimientos establecidos por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y las directrices internacionales proporcionadas por organizaciones como ASHRAE y SMACNA, asegurando que las instalaciones cumplan con altos estándares de calidad, eficiencia y seguridad.

1.1. Características de los estacionamientos

Teniendo en cuenta la dimensión geométrica del estacionamiento y su aplicación, se tomó en cuenta la posibilidad de que ocurra un incendio en alguno de los niveles subterráneos, lo que generaría humo que podría poner en peligro a los usuarios y dificultar el acceso de los bomberos. Además, debido a que es un estacionamiento, se debe mantener una calidad de aire dentro del ambiente. Por eso, se debe tomar en cuenta parámetros tales como emisiones vehiculares, concentración del contaminante en el ambiente, dimensiones del estacionamiento, etc.

A continuación, se muestra en la tabla 1.1 las dimensiones generales de los sótanos:

Descripción	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3	Sótano 4	Sótano 5
Área	A	m ²	1407	1714	1771	1750	204
Altura	H	m	5	2.8	2.8	2.8	2.8
Volumen	V	m ³	7035	4800	4960	4900	571.2
Nivel	-	m	-4.7	-7.7	-10.7	-13.7	-15.2

Tabla 1.1 Características de los niveles de los sótanos

Nota: Se muestra en la tabla las características principales de los niveles de los sótanos del estacionamiento subterráneo. En ella se detallan el área, altura, volumen y nivel de cada uno de los cinco sótanos, especificando sus valores en las unidades correspondientes. Estas cifras son fundamentales para analizar las dimensiones y capacidades de cada nivel, especialmente en relación con el diseño y operación del sistema de ventilación proyectado.

El sótano 1 está a un nivel -4.7 metros pues se considera la primera planta como el nivel de referencia (0 m respecto el piso terminado). Se tiene un área total de estacionamiento de 6846 m². Para fines del proyecto, se considera nominalmente un área aproximada de 6850 m². A continuación, se presenta los esquemas de planta de los 5 sótanos del proyecto



Figura 1.1 Esquema de planta sótano 1 (36 estacionamientos, 1407 m², altura de sótano 1 de 5 m)

Nota: La figura muestra el esquema de la planta correspondiente al sótano 1 de un proyecto arquitectónico. El sótano 1 se encuentra a un nivel de -4.7 metros, tomando como referencia el nivel de piso terminado, que se ubica en el nivel 0. Este sótano abarca un área total destinada al estacionamiento de 6846 m², aunque para efectos prácticos del proyecto, se redondea nominalmente a 6850 m². Dentro de este nivel, se cuenta con 36 espacios de estacionamiento distribuidos en un área de 1407 m². Además, la altura de este sótano es de 5 metros, lo que permite la circulación de vehículos de diferentes dimensiones. A continuación, se ilustran los esquemas correspondientes a las plantas de los cinco sótanos que componen el proyecto.



Figura 1.2 Esquema de planta sótano 2 (67 estacionamientos, 1714 m², altura de sótano 2 de 2.8 m)

Nota: La figura muestra el esquema correspondiente a la planta del sótano 2 de un proyecto arquitectónico. El sótano 2 cuenta con una altura de 2.8 metros y está diseñado para albergar 67 espacios de estacionamiento. La superficie total del área destinada al estacionamiento en este nivel es de 1714 m². Este diseño sigue las normas de funcionalidad y distribución espacial para optimizar el acceso y uso del espacio dentro del proyecto.



Figura 1.3 Esquema de planta sótano 3 (67 estacionamientos, 1771 m², altura de sótano 3 de 2.8m)

Nota: La figura ilustra el esquema correspondiente a la planta del sótano 3 de un proyecto arquitectónico. El sótano 3 tiene una altura de 2.8 metros, con una superficie total destinada al estacionamiento de 1771 m². Este nivel ha sido diseñado para albergar 67 espacios de estacionamiento, siguiendo una distribución que optimiza el flujo vehicular y el aprovechamiento del espacio disponible.



Figura 1.4 Esquema de planta sótano 4 (65 estacionamientos, 1954 m², altura de sótano 4 de 2.8 m)

Nota: La figura presenta el esquema correspondiente a la planta del sótano 4 de un proyecto arquitectónico. El sótano 4 cuenta con una altura de 2.8 metros, y la superficie total destinada al estacionamiento es de 1954 m². Este nivel ha sido diseñado para albergar 65 espacios de estacionamiento, manteniendo una distribución que optimiza tanto el flujo vehicular como la utilización del espacio.



Figura 1.5 Esquema de planta sótano 5 (8 estacionamientos, 634 m², altura de sótano 5 de 2.8 m)

Nota: La figura muestra el esquema correspondiente a la planta del sótano 5 de un proyecto arquitectónico. El sótano 5 tiene una altura de 2.8 metros y cuenta con un área destinada al estacionamiento de 634 m². Este nivel dispone de 8 espacios de estacionamiento, debido a que la distribución prioriza otras funcionalidades o restricciones estructurales del proyecto en esta profundidad.

1.2. Normativa de ventilación aplicable al proyecto

1.2.1. Norma nacional

- **Norma EM.030:**

El propósito principal de esta normativa es ofrecer directrices integrales para el diseño, instalación y operación de sistemas de ventilación mecánica en edificios. Esto tiene como objetivo garantizar un entorno seguro tanto para los ocupantes y trabajadores de estos espacios como para la protección de la infraestructura. La finalidad de esta ventilación es asegurar la calidad del aire interior, evitando la acumulación de contaminantes, especialmente en ambientes cerrados o subterráneos donde la ventilación natural es insuficiente. Esto es fundamental para prevenir accidentes relacionados con gases peligrosos como el monóxido de carbono, que pueden tener consecuencias fatales si no se controlan adecuadamente.

Dentro de las especificaciones, la norma establece que el sistema de ventilación debe ser capaz de extraer los gases nocivos, como el monóxido de carbono, mediante un mecanismo de inyección y extracción que permita la renovación constante del aire interior. La norma es clara al señalar que, en términos de flujo de aire exterior, se debe proporcionar al menos 12 metros cúbicos de aire por hora, por cada metro cuadrado de área de piso. Este volumen asegura que el aire dentro del edificio se renueve adecuadamente cada 12 minutos, lo que es esencial para diluir y eliminar contaminantes como el CO, que de no ser gestionados eficientemente pueden alcanzar niveles peligrosos. Este requisito es obligatorio a partir del tercer sótano de los edificios, donde la acumulación de gases tóxicos puede ser más grave debido a la falta de ventilación natural, que es menos efectiva en áreas subterráneas o cerradas.

Además, la normativa exige que las estaciones con una superficie superior a los 100 metros cuadrados dispongan de un sistema de detección de monóxido de carbono en cada planta. Este requisito es fundamental para prevenir intoxicaciones o incidentes graves, ya que los sistemas de detección automática activarán los ventiladores mecánicos cuando los niveles de monóxido de carbono superen las 50 ppm en las áreas ocupadas por empleados o trabajadores. Este umbral asegura que la concentración de monóxido de carbono no alcance niveles peligrosos para la salud humana, evitando la asfixia y otros efectos adversos que pueden ocurrir cuando el CO desplaza el oxígeno en la sangre y afecta la respiración normal.

En áreas donde no haya personal trabajando, la norma establece un límite de 100 ppm para activar el sistema de ventilación, lo que permite tomar medidas preventivas incluso en zonas no ocupadas, manteniendo la calidad del aire dentro de límites seguros. Esta medida es especialmente relevante en áreas donde los gases tóxicos pueden acumularse rápidamente, como en garajes subterráneos o centros de carga y descarga, donde los vehículos emiten monóxido de carbono mientras están en funcionamiento o incluso estacionados por largos periodos.

La razón detrás de esta rigurosa regulación es que el monóxido de carbono es un gas inodoro, incoloro e insípido, lo que lo hace especialmente peligroso ya que las personas no pueden detectarlo sin la ayuda de equipos de medición. Incluso a concentraciones bajas, el CO puede causar efectos perjudiciales a largo plazo, como fatiga, mareos, náuseas y dolores de cabeza. A niveles más altos, los efectos pueden ser mucho más graves, incluyendo pérdida de conciencia, daños cerebrales permanentes y, en casos extremos, la muerte.

Además de la protección de la salud, esta normativa también tiene en cuenta la eficiencia operativa y la reducción de riesgos dentro de los edificios. Garantizar que los sistemas de ventilación mecánica se activen automáticamente en presencia de niveles elevados de contaminantes no solo ayuda a evitar daños a la salud de los ocupantes, sino que también contribuye a la protección de la estructura del edificio, minimizando los riesgos de daño a los materiales de construcción que pueden ser causados por la acumulación de gases o la corrosión debido a la exposición a químicos.

En conjunto, estas normativas son fundamentales para garantizar que los sistemas de ventilación en edificios comerciales, industriales y residenciales sean no solo efectivos, sino también proactivos en la detección y mitigación de los riesgos asociados con la contaminación del aire interior. Estas medidas, aunque parecen estrictas, son cruciales para proteger la salud pública y mejorar la calidad de vida en los espacios cerrados, especialmente en contextos donde la ventilación natural es insuficiente, como en sótanos, estacionamientos o zonas de alta actividad industrial.

A continuación, en la tabla 1.2 se presenta las condiciones de diseño para estacionamientos según la norma peruana EM.030.

Tabla 1.2 Condiciones de diseño para estacionamientos (*)

Ubicación del estacionamiento	Ventilación natural	Ventilación mecánica
Primer sótano y segundo sótano	Solo cuando se cumplan los siguientes requisitos: a. Proveer de una ventilación que produzca como mínimo una renovación de aire cada 12 minutos, 12 m ³ /h.m ² y una concentración máxima de 50 ppm. El proyectista debe presentar los tres cálculos respectivos y optar por el valor mayor. b. La ventilación natural debe ser cruzada. c. Deben disponerse de aberturas hacia el medioambiente 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 próxima es mayor que 30 m debe disponerse otro equidistante de ambas hacia el medioambiente exterior permitiéndose una tolerancia del 5%. 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 encuentren en el interior. En caso contrario debe aplicarse ventilación mecánica.	
Tercer sótano y siguientes	-	Obligatorio el cumplimiento de lo indicado en la presente norma

(*) Tomado de “Norma de instalaciones de ventilación, norma EM.030 2020: 33”

Nota: Se muestra en la tabla las condiciones de diseño para la ventilación en estacionamientos según la norma EM.030. Para los primeros dos sótanos, se permite el uso de ventilación natural siempre que se cumplan estrictamente ciertos requisitos técnicos, como una renovación mínima de aire cada 12 minutos, una concentración máxima de 50 ppm de monóxido de carbono y la disposición adecuada de aberturas para garantizar la circulación cruzada del aire. Además, el diseño debe estar sustentado en simulaciones y cálculos logarítmicos que aseguren la eficiencia de la extracción de humo y la inyección de aire fresco. En caso de no cumplir con estas condiciones, se deberá implementar ventilación mecánica. Para los sótanos a partir del tercer nivel, el uso de ventilación mecánica es obligatorio, conforme a las disposiciones establecidas por la normativa.

1.2.2. Norma internacional

- **Norma UNE 23585**

Para los espacios cerrados donde se encuentran personas, es esencial garantizar su seguridad, especialmente en situaciones de emergencia, como incendios. La normativa que regula estos sistemas tiene como objetivo proteger la salud y el bienestar de las personas al asegurar que haya sistemas adecuados para la admisión de aire y la extracción de calor y humos en el edificio. Este tipo de sistemas son cruciales, ya que en situaciones de incendio, los caminos de acceso deben mantenerse libres de humo, permitiendo que las personas puedan evacuar sin dificultades. Además, estos sistemas deben ser capaces de controlar tanto la temperatura de los humos como de reducir el daño que el calor y los gases tóxicos puedan causar en los elementos estructurales del edificio.

El diseño del sistema de extracción de humos debe tener en cuenta varios factores clave. Uno de los más importantes es el perímetro del sistema, que se calcula considerando la cantidad de calor liberado por un incendio, particularmente el generado por vehículos estacionados en un área cercana, como los incendios de autos. La norma británica BS 7346-7:2006 sirvió como base para desarrollar esta normativa, proporcionando criterios para dimensionar los sistemas de evacuación de humos en caso de incendios, específicamente aquellos que involucran vehículos.

En la tabla 1.3 de la norma, se presenta la cantidad estimada de calor que se libera durante un incendio, y esto se utiliza como una referencia crucial para dimensionar el sistema de extracción de humos. El calor generado por un incendio de un vehículo, por ejemplo, es un factor crítico, ya que puede afectar gravemente la integridad estructural del edificio y la salud de las personas dentro de él. Por lo tanto, se debe garantizar que el sistema de extracción de humos pueda manejar la cantidad de calor proyectada para evitar daños y asegurar que los sistemas de evacuación sigan siendo efectivos, incluso en las condiciones más extremas.

Tabla 1.3 Calor liberado de acuerdo con el modelo de incendio (*)

Uso u ocupación	Área de incendio (m ²)	Perímetro de incendio (m)	Valor del calor liberado (kW/m ²)
Áreas de venta al por menor:			
-Rociadores de respuesta normal	10	12	625
	5	9	625
-Rociadores de respuesta rápida	Toda la habitación	Ancho de la abertura	1200
-Sin rociadores			
Oficinas:			
-Rociadores de respuesta normal	10	10	255
	5	5	255
-Sin rociadores. Cama-combustible	Toda la habitación	Toda la habitación	255
-Sin rociadores			
Habitación de hotel:			
- Rociadores de respuesta normal	2	6	250
	toda la habitación	ancho de la abertura	100
- Sin rociadores			
Aparcamiento de coches:			
- Un coche ardiendo	10	14	400

(*). Tomado de "Asociación Española de Normalización y Certificación", (UNE 23585 2017: 34)

Nota: Se muestra en la tabla el calor liberado en diferentes escenarios de incendio según el modelo definido por la norma UNE-23585. Se considera el tipo de uso u ocupación, el área y perímetro del incendio, así como el valor del calor liberado en kW/m². Por ejemplo, en un aparcamiento de coches, un vehículo en llamas genera un valor de calor liberado de 400 kW/m², mientras que en áreas de venta al por menor o habitaciones de hotel, los valores varían dependiendo de la presencia o ausencia de rociadores y el tipo de respuesta de estos.

- **Norma ASHRAE**

La Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) es una organización que juega un papel fundamental en la promoción de estándares y avances tecnológicos dentro de los campos de la climatización, la refrigeración y la ventilación. Su objetivo principal es fomentar las ciencias que están directamente relacionadas con el control del ambiente interior y la calidad del aire, aspectos fundamentales tanto para la comodidad de las personas como para la sostenibilidad de los edificios. ASHRAE busca, a través de la investigación y la estandarización, optimizar la eficiencia energética de los sistemas de climatización y calefacción, con la meta de hacer que estos sistemas sean más eficientes y menos contaminantes.

ASHRAE no solo se enfoca en la eficiencia energética, sino también en la mejora de la calidad del aire en interiores. Esto incluye el diseño y la implementación de sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado, con la intención de promover ambientes interiores saludables y confortables. Además, la organización se ocupa de la sostenibilidad dentro de la industria, buscando soluciones que no solo beneficien a los usuarios, sino que también tengan un menor impacto en el medio ambiente. Para lograr estos objetivos, ASHRAE publica normas y estándares técnicos que guían el diseño y la implementación de estos sistemas, asegurando que se cumplan las mejores prácticas en términos de eficiencia, salud y sostenibilidad.

Uno de los campos donde ASHRAE ha influido significativamente es en el diseño de ductos, tuberías y sistemas de climatización. Estos sistemas son esenciales para mantener un ambiente saludable y confortable dentro de los edificios, regulando parámetros como la temperatura, la humedad y la calidad del aire. Las normas publicadas por ASHRAE proporcionan directrices claras sobre cómo deben ser diseñados estos sistemas para maximizar su rendimiento y minimizar el consumo energético. Estas normativas son adoptadas globalmente por ingenieros y profesionales del sector, ayudando a estandarizar los procedimientos y garantizar que los sistemas de climatización sean tanto eficientes como efectivos.

En el ámbito específico de la extracción de monóxido de carbono (CO), ASHRAE proporciona una guía detallada con los límites máximos permisibles de este gas en ambientes cerrados. Este es un aspecto crucial en muchos edificios, especialmente en aquellos que incluyen garajes subterráneos, sistemas de combustión interna o cualquier tipo de instalación que produzca emisiones de monóxido de carbono. El CO es un gas venenoso que puede ser mortal si se acumula en niveles elevados dentro de un espacio cerrado. Por lo tanto, ASHRAE establece valores límites de concentración de monóxido de carbono (por ejemplo, 35 ppm de CO) para asegurar que el aire en los interiores de los edificios permanezca seguro para los ocupantes.

De acuerdo con la normativa, se detallan los valores límites de exposición para diversos contaminantes en ambientes cerrados. Para el caso específico del monóxido de carbono, ASHRAE propone un sistema de medición y monitoreo continuo para asegurarse de que los niveles de CO se mantengan dentro de los límites seguros. La Tabla 1.4, que se encuentra en las publicaciones de ASHRAE, es un ejemplo claro de cómo se presentan las concentraciones máximas de contaminantes que se permiten en el aire dentro de edificios cerrados, garantizando así que el ambiente interior sea saludable y seguro para las personas.

Tabla 1.4 Concentraciones máximas de contaminantes en recintos cerrados (*)

Contaminante	Estándar primario	Tiempo medio	Estándar secundario
Dióxido de azufre	75 ppb	1 hora	-
	-	3 horas	0.5 ppm
Partículas (PM 10)	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 horas	Igual que el primario
Partículas (PM 2.5)	12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anual (media aritmética)	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 horas	Igual que el primario
Monóxido de carbono	9 ppm (10 mg/m^3)	8 horas	ninguna
	35 ppm (40 mg/m^3)	1 hora	ninguna
Ozono	0.075 ppm	8 horas	Igual que el primario
Dióxido de nitrógeno	100 ppb	1 hora	-
	0.053 ppm (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Anual (media aritmética)	Igual que el primario
Plomo	0.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	media de tres meses en operación	Igual que el primario

(*) Tomado de “*Ventilación para una calidad adecuada del aire interior*”, (ASHRAE 62.1 2016:60)

Nota: Se muestra en la tabla las concentraciones máximas admisibles de diversos contaminantes en recintos cerrados, según la norma ASHRAE 62.1. Se establecen estándares primarios y secundarios para contaminantes como dióxido de azufre, partículas (PM10 y PM2.5), monóxido de carbono, ozono, dióxido de nitrógeno y plomo, indicando además el tiempo promedio permitido para cada concentración. Por ejemplo, el monóxido de carbono tiene un estándar primario de 9 ppm para exposiciones de 8 horas y 35 ppm para exposiciones de 1 hora. Estas concentraciones son fundamentales para garantizar la calidad del aire interior y la seguridad de los ocupantes en espacios cerrados.

1.3. Características del aire y contaminantes

La contaminación del aire constituye uno de los desafíos más apremiantes en materia de salud pública en la actualidad, con efectos profundos y variados tanto en la población humana como en el medio ambiente. La exposición constante a niveles elevados de contaminantes ambientales supone un riesgo considerable no solo para el sistema respiratorio, sino también para otros órganos y sistemas del cuerpo humano, así como para la infraestructura de espacios interiores. A continuación, se examina la problemática de la contaminación del aire y sus implicaciones en entornos específicos, tales como los estacionamientos subterráneos.

Condiciones críticas en estacionamientos cerrados o subterráneos

Los estacionamientos cerrados, especialmente los subterráneos, representan un entorno particularmente peligroso en términos de calidad del aire. Estos espacios carecen, en su mayoría, de ventilación natural, lo que contribuye a la acumulación de contaminantes. Entre los principales gases presentes en estos espacios se encuentran:

- **Monóxido de carbono (CO):** Emitido principalmente por los vehículos en funcionamiento.
- **Óxidos de nitrógeno (NOx):** Producidos por la combustión interna de los motores.
- **Partículas en suspensión (PM2.5 y PM10):** Provenientes de la fricción de los neumáticos y los frenos.
- **Compuestos orgánicos volátiles (COV):** Liberados por los combustibles y aceites.

Sin un sistema de ventilación eficiente, estos contaminantes se acumulan rápidamente, superando los límites de seguridad establecidos por normativas internacionales, como la recomendación de 35 ppm de CO para espacios cerrados. Esta acumulación no solo pone en peligro la salud humana, sino que también crea riesgos adicionales, como el aumento de la probabilidad de incendios debido a la presencia de gases combustibles.

Impacto ambiental y estructural

Además de los riesgos directos para la salud, la acumulación de contaminantes en espacios cerrados tiene implicaciones ambientales y estructurales. Los gases tóxicos pueden acelerar el deterioro de materiales de construcción, especialmente en condiciones de alta humedad. Por ejemplo:

- **Corrosión de estructuras metálicas:** Los óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre (SO₂) reaccionan con la humedad, formando compuestos ácidos que corroen metales y comprometen la integridad estructural de los edificios.
- **Degradación de materiales:** Los contaminantes pueden dañar superficies como concreto, pintura y revestimientos, aumentando los costos de mantenimiento y reparación.

Sistemas de ventilación como solución

Para mitigar los riesgos asociados con la contaminación en estacionamientos cerrados, es imprescindible la implementación de sistemas de ventilación modernos y eficientes. Estos sistemas deben ser capaces de:

1. **Monitorear la calidad del aire en tiempo real:** A través de sensores que detecten niveles peligrosos de CO y otros contaminantes.
2. **Renovar constantemente el aire:** Los extractores de aire deben garantizar un flujo continuo de aire fresco para diluir y eliminar los contaminantes acumulados.
3. **Optimizar el consumo energético:** Mediante el uso de variadores de velocidad y sistemas automatizados que ajusten el flujo de aire en función de la concentración de gases.

Normas y estándares

El cumplimiento de normativas como las establecidas por ASHRAE y las autoridades locales es esencial para garantizar la seguridad de estos espacios. Estas normativas recomiendan no solo límites estrictos para la concentración de gases, sino también inspecciones regulares y mantenimiento de los sistemas de ventilación.

La contaminación del aire en estacionamientos cerrados representa un desafío crítico que requiere atención inmediata. Además de los riesgos para la salud humana, la falta de ventilación adecuada puede generar costos adicionales asociados con el mantenimiento de la infraestructura. Implementar sistemas de ventilación efectivos y monitorear constantemente la calidad del aire no solo es una medida de seguridad, sino también una inversión en la sostenibilidad y funcionalidad a largo plazo de estos espacios.

1.3.1. Contaminantes producidos por vehículos motorizados

Los vehículos motorizados representan una de las principales fuentes de contaminación atmosférica debido al impacto del proceso de combustión interna que se lleva a cabo en sus motores. Este proceso, cuyo objetivo principal es generar la energía necesaria para el funcionamiento del vehículo, también se convierte en un foco de emisión de contaminantes cuando no se realiza de manera eficiente.

Durante la combustión, el combustible (ya sea gasolina o diésel) reacciona con el oxígeno para producir energía. Sin embargo, esta reacción química rara vez es completamente

eficiente, lo que provoca la liberación de diversas sustancias nocivas al medio ambiente. Entre los contaminantes más comunes emitidos por los vehículos se encuentra el monóxido de carbono (CO), un gas tóxico que se produce por la quema incompleta del combustible. Este compuesto es particularmente peligroso porque puede interferir con la capacidad del cuerpo para transportar oxígeno en la sangre.

Además, los motores de combustión liberan hidrocarburos no quemados, que son compuestos orgánicos que no se oxidaron completamente durante el proceso. Estos hidrocarburos, cuando interactúan con la luz solar, pueden contribuir a la formación de ozono a nivel del suelo, un componente del smog que afecta tanto la salud humana como los ecosistemas.

Por otra parte, los óxidos de nitrógeno (NOx), emitidos por los vehículos, presentan serios problemas ambientales. Estos compuestos no solo contribuyen a la formación del smog, sino que también desempeñan un papel fundamental en la generación de lluvia ácida y en la contaminación atmosférica.

El monóxido de carbono, por ejemplo, es un gas incoloro e inodoro que es extremadamente peligroso para la salud humana, ya que interfiere con la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, lo que puede llevar a intoxicaciones graves o incluso a la muerte en niveles elevados. Los hidrocarburos no quemados, que son restos del combustible que no se han procesado completamente, contribuyen a la formación de ozono troposférico y smog, afectando la calidad del aire y la salud respiratoria. Por su parte, los óxidos de nitrógeno son responsables de la formación de lluvias ácidas y también contribuyen a la contaminación atmosférica y la alteración del clima debido a su rol en la creación de partículas finas y compuestos dañinos para la capa de ozono.

La eficiencia del motor juega un papel crucial en la cantidad de contaminantes que se emiten. Un motor mal ajustado, con una combustión incompleta o deficiente, puede generar cantidades mucho mayores de estos compuestos tóxicos. Esto no solo empeora la calidad del aire, sino que también incrementa la exposición de la población a enfermedades respiratorias y cardiovasculares, especialmente en áreas urbanas con altos niveles de tráfico vehicular.

- **Monóxido de carbono (CO):**

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro e inodoro que se produce como resultado de la combustión incompleta en los motores de vehículos. Es considerado uno de los contaminantes más peligrosos liberados por los vehículos motorizados, ya que su ausencia de color y olor lo hace indetectable para los sentidos humanos. Este gas tóxico tiene un impacto directo en la salud, y su inhalación en concentraciones elevadas puede resultar fatal. El monóxido de carbono compite con el oxígeno en el cuerpo humano al unirse a la hemoglobina en la sangre, lo que reduce significativamente la capacidad de las células para recibir oxígeno y, en consecuencia, limita su funcionamiento adecuado.

Uno de los lugares donde el monóxido de carbono puede alcanzar concentraciones peligrosas es en los estacionamientos subterráneos. En estos espacios, la ventilación suele ser limitada, lo que permite la acumulación de este gas en niveles perjudiciales. Estudios han demostrado que, en estacionamientos con ventilación insuficiente, las concentraciones de monóxido de carbono pueden superar las 100 partes por millón (ppm) durante varias horas, lo que representa un riesgo significativo para la salud de las personas expuestas. Una exposición prolongada a niveles de CO de esta magnitud puede provocar síntomas como dolor de cabeza, mareos y confusión, y en casos extremos, puede ser mortal.

En la tabla 1.5 se presentan los efectos del monóxido de carbono en el organismo según diferentes concentraciones y tiempos de exposición.

Tabla 1.5. Efectos dañinos a la salud de acuerdo con las concentraciones de monóxido de carbono (*)

Concentración de monóxido de carbono	Efectos
0-229 mg/m ³ (0-200 ppm)	Ligero dolor de cabeza en algunos casos
10 mg/m ³ (8,7 ppm)	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante 8 horas
30 mg/m ³ (26 ppm)	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante una hora
34,4 mg/m ³ (30 ppm)	La exposición diaria a esta concentración es equivalente a fumar 20 cigarrillos al día
40,1 mg/m ³ (35 ppm)	Las personas que tienen enfermedades cardíacas no deben exponerse a niveles superiores a esta concentración
60 mg/m ³ (52 ppm)	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante 30 minutos
100 mg/m ³ (87 ppm)	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante 15 minutos
115 mg/m ³ (100 ppm)	Se informó del primer indicio de angina en sujetos que hacían ejercicio con cardiopatía coronaria expuestos a esta concentración
229-458 mg/m ³ (200-400 ppm)	Después de 5-6 horas se puede observar un leve dolor de cabeza, náuseas, vértigo y síntomas mentales
458-802 mg/m ³ (400-700 ppm)	Después de 4-5 horas se puede observar un fuerte dolor de cabeza, incoordinación muscular, debilidad, vómitos y colapso
802-1260 mg/m ³ (700-1100 ppm)	Después de 3-5 horas se puede observar un fuerte dolor de cabeza, debilidad, vómitos y colapso
1260-1832 mg/m ³ (1100-1600 ppm)	Después de 1.5-3 horas se puede observar coma. (la respiración es aún bastante buena a no ser que el envenenamiento se haya prolongado)
1832-2290 mg/m ³ (1600-2000 ppm)	Después de 1-1.5 horas hay posibilidad de muerte
5726-11452 mg/m ³ (5000-10000 ppm)	Después de 2-15 minutos se puede producir la muerte

(*) Tomado de "Efectos en la salud de acuerdo a la concentración de monóxido de carbono", por Murcia Salud

Nota: Se muestra en la tabla los efectos dañinos del monóxido de carbono en la salud, de acuerdo con diferentes concentraciones y tiempos de exposición. Por ejemplo, una exposición a concentraciones de 10 mg/m³ (8,7 ppm) durante 8 horas no excede el nivel de carboxihemoglobina del 2.5 %, mientras que concentraciones mayores, como 229-458 mg/m³ (200-400 ppm), pueden causar dolores de cabeza, náuseas y vértigo tras 5-6 horas de exposición. En niveles críticos, superiores a 5726 mg/m³ (5000 ppm), la exposición de 2-15 minutos puede resultar mortal.

- **Hidrocarburos (HC)**

Los hidrocarburos es un gas formado por hidrógeno y carbono que se produce debido a la gasolina sin quemar y vapores de aceite producidos en autos. Estos gases afectan al ambiente ya que genera contaminación del ozono. La exposición a este gas puede causar irritaciones en la piel, ojos y conductos respiratorios. La unidad con la que se mide es ppm (partes por millón).

- **Óxidos de nitrógeno (NOX)**

El óxido de nitrógeno es una combinación de gases compuestos principalmente de nitrógeno y oxígeno que se liberan, entre otras fuentes, a través del escape de vehículos motorizados. Este contaminante, presente en el aire, puede tener efectos significativos sobre la salud dependiendo de su concentración. A niveles bajos, suele causar irritación en los ojos, la nariz y la garganta, además de síntomas como cansancio y náuseas. Sin embargo, la exposición a niveles elevados puede tener consecuencias mucho más graves, incluyendo dilatación en la garganta, espasmos musculares e, incluso, resultar letal en casos extremos. Por esta razón, es importante monitorear su presencia en el ambiente, algo que se realiza midiendo su concentración en partes por millón (ppm).

1.3.2. Concentración máxima admisible

El establecimiento de una concentración máxima admisible de contaminantes en el aire tiene como objetivo principal garantizar la salud de las personas y proteger los ecosistemas frente a los riesgos asociados a niveles elevados de contaminación. Estas regulaciones buscan crear un entorno seguro al definir límites claros que no deben excederse bajo condiciones específicas. Para ello, se implementan normas de protección primaria que funcionan como parámetros esenciales para el monitoreo, regulación y control de la calidad del aire, ya sea en espacios cerrados, áreas de trabajo o ambientes públicos.

En Perú, el Reglamento Nacional de Edificaciones establece que la concentración máxima permitida de monóxido de carbono (CO) en el aire no debe exceder las 50 partes por millón (ppm). Este límite ha sido determinado como una medida preventiva para proteger la salud pública, dado que el monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro con una alta toxicidad.

La exposición prolongada o a niveles elevados de este gas puede provocar intoxicaciones graves e incluso ser fatal, ya que afecta directamente al transporte de oxígeno en el organismo. El monóxido de carbono tiene la capacidad de unirse a la hemoglobina de la sangre con una afinidad mucho mayor que el oxígeno, lo que dificulta que este último llegue

de manera adecuada al cerebro y otros órganos vitales, generando efectos que van desde mareos y náuseas hasta pérdida del conocimiento y, en casos extremos, la muerte.

Estas normativas no solo son cruciales para la salud pública, sino que también destacan la importancia de la implementación de sistemas de ventilación adecuados, monitoreos constantes y la adopción de medidas preventivas en espacios donde se puedan generar concentraciones peligrosas de monóxido de carbono, como en garajes, fábricas y otros ambientes cerrados. La vigilancia de estos límites contribuye no solo a salvaguardar vidas humanas, sino también a mejorar la calidad del aire que respiramos día a día.

Sin embargo, la tecnología utilizada en Perú para detectar monóxido de carbono, a través de los sensores instalados en diferentes espacios, está diseñada para identificar una concentración máxima de 35 ppm. Esto significa que los sensores en uso en Perú tienen una capacidad más precisa para medir niveles de monóxido de carbono más bajos, lo que refleja un enfoque más conservador respecto a los límites establecidos por la normativa nacional. La norma internacional ASHRAE, que es una referencia clave en muchos países para los estándares de calidad del aire en edificios, también indica que la concentración de monóxido de carbono no debe superar los 35 ppm en ciertas circunstancias, lo que está alineado con los valores más estrictos adoptados en otros lugares.

Por esta razón, en el contexto de este proyecto, se adoptará como límite de concentración de monóxido de carbono los 35 ppm, siguiendo tanto las recomendaciones internacionales de ASHRAE como las medidas preventivas de la normativa peruana para proteger la salud y el bienestar de los ocupantes de los espacios.

Además, en la Tabla 1.6, que se presenta en las normativas técnicas correspondientes, se especifican las concentraciones máximas admisibles de gases nocivos en puestos de trabajo. Estos valores son fundamentales para proteger la salud de los trabajadores que pasan largos períodos de tiempo en ambientes cerrados o industriales donde la exposición a contaminantes puede ser más alta. La tabla establece límites seguros para otros gases, como los óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre, y define los rangos en los que la exposición diaria no representa un riesgo significativo para la salud.

Tabla 1.6. Concentraciones máximas admisibles para gases nocivos en puestos de trabajo (*)

Materia	Valores límites permisibles		Materia	Valores límites permisibles	
	Partes por millón	mg/m ³		Partes por millón	mg/m ³
Acetona	500	1187	Cloroformo	11	49
Ácido acético	10	24.5	Dióxido de carbono	5000	9000
Monóxido de carbono	50	55	Dióxido de cloro	0.1	0.28
Ácido fórmico	5	9.4	Fluor	1	1.6
Alcohol etílico	1000	1884	Fosgeno	0.1	0.4
Amoniaco	25	17	Mercurio		0.025
Anilina	2	7.6	Nitrobencono	1	5
Arsenammina	0.05	0.16	Ozono	0.08	0.16
Benceno	0.5	1.6	Plomo		0.05
Bromo	0.1	0.65	Seleniuro de hidrógeno	0.05	0.17
Butano	800	1902	Sulfuro de hidrógeno	10	14
Cloro	0.5	1.45	Tetracloruro de carbono	20	60

(*) Tomado de “*instalaciones de ventilación*”, (EM.030 2020: 28-29)

Nota: Se muestra en la tabla las concentraciones máximas admisibles para diversos gases nocivos en puestos de trabajo, conforme a la norma EM.030. Los valores se presentan en partes por millón (ppm) y miligramos por metro cúbico (mg/m³). Por ejemplo, para el monóxido de carbono, el límite permitido es de 50 ppm o 55 mg/m³, mientras que para el dióxido de carbono es de 5000 ppm o 9000 mg/m³. Estos límites son esenciales para garantizar un ambiente laboral seguro y evitar riesgos de salud asociados a la exposición a estas sustancias.

A nivel mundial, La comunidad europea y Estados Unidos, la concentración máxima de monóxido de carbono es de 50 ppm, excepto en Francia, la cual es de 30 ppm. Estos valores límites corresponden para una jornada laboral de 8 horas. Según ASHRAE, para una buena calidad interior de un ambiente la cantidad de monóxido de carbono en una hora promedio es de 35 ppm y por 8 horas promedio es de 9 ppm. La organización de la Salud limita las concentraciones de CO según el tiempo de exposición que va desde 90 ppm (15 minutos de exposición) a 10 ppm (exposición de 8 horas). A continuación, se muestra una tabla donde indica las concentraciones máximas admisibles

Tabla 1.7 Concentraciones máximas de monóxido de carbono admisibles de acuerdo con el tiempo de exposición según normas y países (*)

	Tiempo (horas)	PPM	Ventilación
ASHRAE	8	9	7.6 L/s.m ² (1.5 CFM/ft ²)
	1	35	
ICBO	8	50	7.6 L/s.m ² (1.5 CFM/ft ²)
	1	200	
NIOSH/ OSHA	8	35	-
		200	
BOCA	-	-	6 renovaciones por hora
SBCCI	-	-	6-7 renovaciones por hora
NFPA	-	-	6 renovaciones por hora
ACGIH	8	25	-
Canadá	8	11/13	-
	1	25/30	
Finland	8	30	2.7 L/s.m ² (350 cfm/ft ²)
	15 minutos	75	
France	20 minutos	100	(165 L.s car)
Germany	-	-	3.3 L/s. m ²
Japan/South Korea	-	-	6.35-7.62 L/s.m ² (1.25-1.5 cfm/ft ²)
Netherlands	0.5	200	-
Sweden	-	-	0.91 L/s.m ² (0.18 cfm/ft ²)
U. K	8- 15 minutos	50 - 300	6-10 renovaciones por hora

(*) Tomado de "Ventilación de estacionamientos cerrados", (Krarti 2001:54)

Nota: Se muestra en la tabla las concentraciones máximas admisibles de monóxido de carbono según diferentes normas y países, en función del tiempo de exposición. Por ejemplo, la norma ASHRAE establece un límite de 9 ppm para 8 horas de exposición y 35 ppm para 1 hora, con una ventilación mínima de 7.6 L/s.m² (1.5 CFM/ft²). Otros países, como Francia, permiten concentraciones de hasta 100 ppm para 20 minutos, mientras que en Canadá los límites varían entre 11/13 ppm para 8 horas y 25/30 ppm para 1 hora.

1.4. Sistema de ventilación:

La ventilación es un sistema que facilita la entrada de aire del exterior al interior de un espacio, distribuyéndolo en todo su entorno. Este sistema tiene como objetivo suplir el aire viciado interno del establecimiento, el cual presenta impurezas, humedad excesiva, por un aire de mejor calidad. En el caso de ventilación en sótanos que funcionan como estacionamiento, el objetivo de este sistema es mantener en concentraciones mínimas el monóxido de carbono. Además, de garantizar que todos los contaminantes producidos por automóviles se presenten en concentraciones imperceptibles en los ambientes para evitar dañar la salud de los usuarios.

También permite establecer una ruta de evacuación segura en caso de incendio. Existen diferentes tipos de sistemas de ventilación. A continuación, se explican cada una de ellas.

1.4.1. Ventilación natural

En este tipo de sistemas no se utiliza equipos mecánicos. Se le conoce como ventilación cruzada, la cual consta de 2 ventanas o puertas que estén en posiciones opuestas como se observa en la figura 1.6 para que se produzca la renovación de aire. Esto permite que el aire circule desde la zona de alta a la baja presión. Este sistema se ve influenciado por las condiciones climáticas del lugar, incluyendo la velocidad del viento, la humedad y el nivel de pureza del aire. Sin embargo, este tipo de ventilación no garantiza una adecuada eliminación de contaminantes y, por ende, no puede ser aplicables en estacionamientos subterráneos.

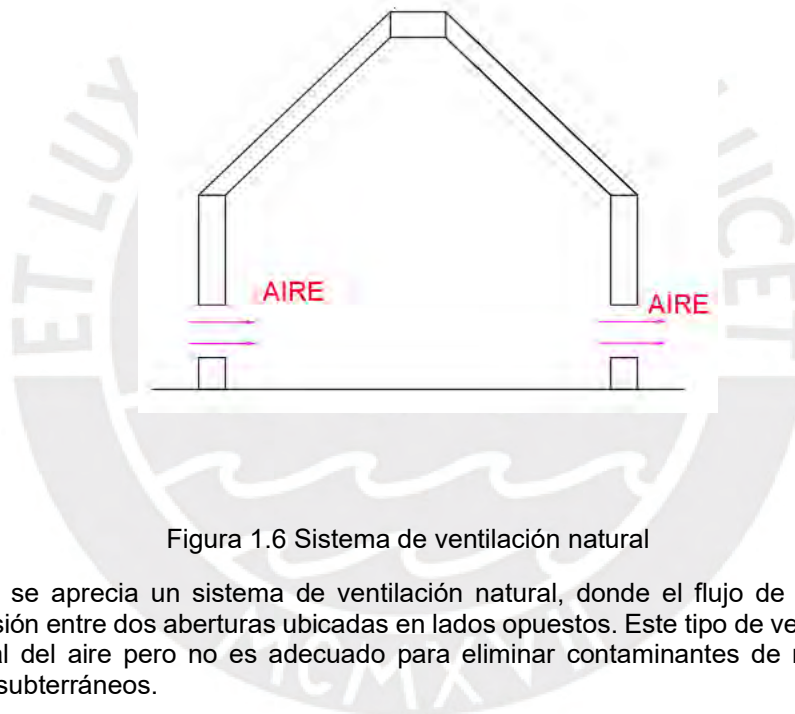


Figura 1.6 Sistema de ventilación natural

Nota: En la figura se aprecia un sistema de ventilación natural, donde el flujo de aire se genera por diferencias de presión entre dos aberturas ubicadas en lados opuestos. Este tipo de ventilación aprovecha la corriente natural del aire pero no es adecuado para eliminar contaminantes de manera efectiva en estacionamientos subterráneos.

1.4.2. Ventilación mecánica

Este tipo de sistemas utilizan equipos de ventilación mecánica tales como ventiladores movidos por motores eléctricos, los cuales pueden instalarse directamente en paredes o ventanas, o instalarse en conductos para suministrar aire o expulsar aire de un ambiente. Este método de ventilación es muy eficiente para mejorar la calidad del aire dentro de un ambiente a comparación con la ventilación natural. También llamado ventilación forzada o inducida. Los tipos de ventilación mecánica se pueden clasificar en:

- **Ventilación por inyección:** Sistema que utiliza un equipo inyector para suministrar aire filtrado del exterior al ambiente. Este método no controla el aire evacuado del establecimiento ya que se realiza de manera natural mediante puerta, ventanas, etc.
- **Ventilación por extracción:** Sistema que utiliza un equipo extractor para eliminar el aire contaminado de un ambiente a través de conductos hacia el exterior. La extracción no controla el flujo de aire que ingresa al ambiente ya que este se hará de forma natural a través de ventanas, puertas, etc.
- **Ventilación mixta:** Sistema más usado en la industria debido a que combina los métodos de extracción e inyección en un ambiente. Esto permite controlar el flujo de entrada y salida de aire para mantener un aire de calidad en el ambiente. Consiste en introducir aire limpio al establecimiento y extraer el aire viciado. En la figura 1.7 se muestra un esquema de sistema de ventilación mecánica mixta.

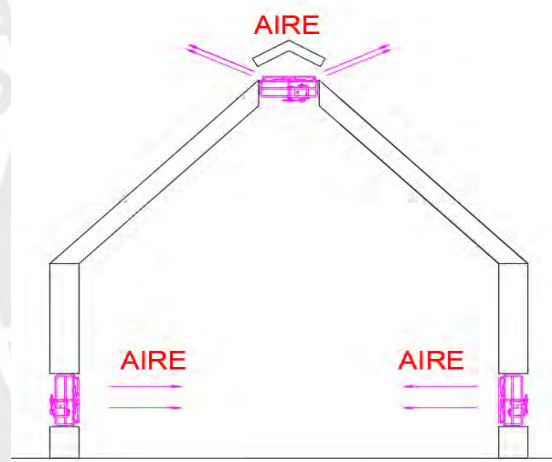


Figura 1.7 Sistema de ventilación mecánica mixta

Nota: En la figura se ilustra un sistema de ventilación mecánica mixta, donde se combinan los métodos de inyección y extracción de aire en un ambiente cerrado. Este sistema es el más empleado en la industria debido a su capacidad para mantener la calidad del aire, eliminando contaminantes y permitiendo un flujo controlado. Como se observa, el aire limpio ingresa por los conductos superiores, mientras que el aire viciado se extrae por los conductos inferiores, garantizando una renovación constante del aire en el espacio.

1.4.3. Ventilación localizada

La ventilación localizada implica captar el aire contaminado desde el punto de origen de su propagación, lo que ayuda a prevenir que el agente contaminante se disperse por todo el ambiente. Una de las ventajas de este método es que requiere menos aire en comparación con otros tipos de ventilación. Este sistema se utiliza para la extracción de humos de soldadura, virutas, humo, vapores de cocción, entre otros. Un sistema de extracción localizada se compone principalmente de:

- **Receptor o campana extractora**

Es una estructura que está diseñada para encerrar total o parcialmente una operación que genera aire o vapor contaminante en un área específica. Usualmente se implementa en la extracción de humos de soldadura, de cocción, para extraerlos y retirarlos del ambiente. Los materiales con los cuales se fabrican estos componentes son de acero inoxidable dependiendo de la aplicación.

- **Conductos**

Estructura a través de la cual circula el flujo de aire contaminado desde la campana hacia los ventiladores. Es importante considerar la velocidad de transporte requerida para evitar que el contaminante se deposite en estos conductos. El material con cual usualmente se fabrica este componente es de acero inoxidable o acero negro.

- **Purificador de aire**

El purificador de aire es un componente que tiene como objetivo separar los contaminantes tales como grasas, partículas en suspensión, polvos y otros contaminantes del aire que se emitirán hacia un ambiente de tal forma que la contaminación al ambiente sea mínima.

- **Ventilador**

Componente electro-mecánico que tiene por función el desplazamiento de un flujo de aire (o gases) para retirar contaminantes del espacio ventilado. Debido a su aplicación deberá ser resistente a contaminantes, antideflagrante y silencioso. Este es instalado después de los purificadores de aire para evitar dañar el ventilador y que el flujo que pase por este equipo sea aire limpio. Esto evita daños por erosión o corrosión ya que existirá contacto mínimo entre polvo o grasa con el ventilador. En la figura 1.8 se muestra un esquema de extracción localizada

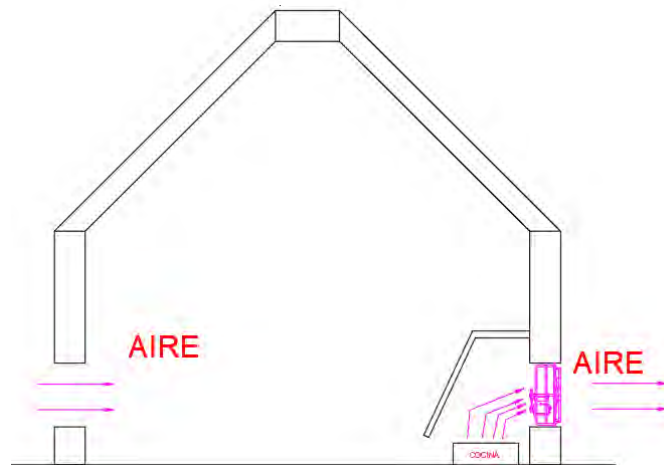


Figura 1.8 Sistema de extracción localizada

Nota: En la figura 1.8 se observa un esquema de extracción localizada, un sistema que capta aire contaminado directamente desde el punto de emisión, evitando que se disperse por el ambiente. Este tipo de ventilación utiliza componentes como campanas extractoras, conductos, purificadores de aire y ventiladores. Como se ilustra, el aire contaminado es captado en la campana y conducido hacia los ventiladores a través de los conductos, donde un purificador elimina partículas contaminantes antes de expulsar el aire tratado, garantizando así un impacto ambiental mínimo.

1.4.4. Ventilación por sobrepresión

En este tipo de ventilación ocurre una diferencia de presión entre dos zonas. La presión dentro del ambiente acondicionado es mayor que la presión atmosférica debido a que se está inyectado aire por medio de un ventilador mecánico. Mediante cálculos de presurización, se extrae menos aire de lo que se inyecta y así se podrá mantener las condiciones de sobrepresión. Además, el aire contaminado es evacuado por las vías de acceso realizadas para ello. Este tipo de ventilación es instalada en presurización de escaleras para evitar que el humo, por ejemplo, de un incendio en el local no pueda entrar y esta área sea segura para la evacuación del ambiente.

En la figura 1.9 se muestra un esquema de ventilación por sobrepresión

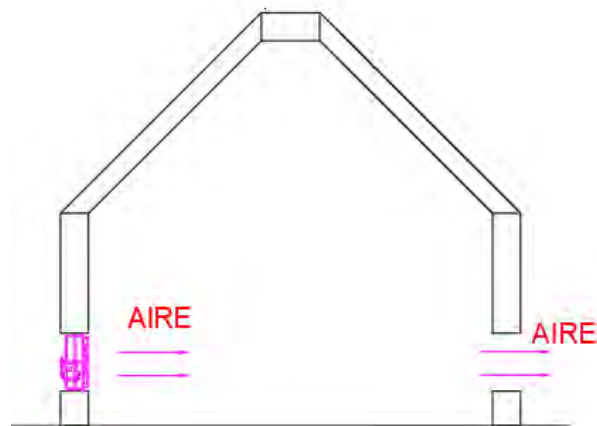


Figura 1.9 Ambiente con presión positiva con respecto a la atmosférica

Nota: En la figura 1.9 se presenta un esquema de ventilación por sobrepresión, un sistema que genera una diferencia de presión entre dos zonas mediante la inyección de aire a través de un ventilador mecánico. En este caso, la presión dentro del ambiente es mayor que la presión atmosférica, lo que permite mantener condiciones seguras y evitar la entrada de humo o contaminantes. Este tipo de ventilación es especialmente útil en la presurización de escaleras, asegurando rutas de evacuación seguras en caso de incendio.

1.4.5. Ventilación por depresión

Al igual que la ventilación por sobrepresión, este sistema crea una diferencia de presión entre el interior y el exterior del local. Sin embargo, en este caso, la presión en el ambiente es menor que la presión atmosférica. El ventilador extrae el aire contaminado, lo que genera una caída de presión en relación con la presión atmosférica. Este tipo de ventilación se instala en centros comerciales y restaurantes, ya que permite controlar la descarga de aire hacia el exterior. También se utiliza en salas de cuidados intensivos para evitar que el aire contaminado se escape a otros ambientes, asegurando que solo sea extraído a través de los conductos instalados. En la figura 1.10 se muestra un esquema de ventilación por depresión.

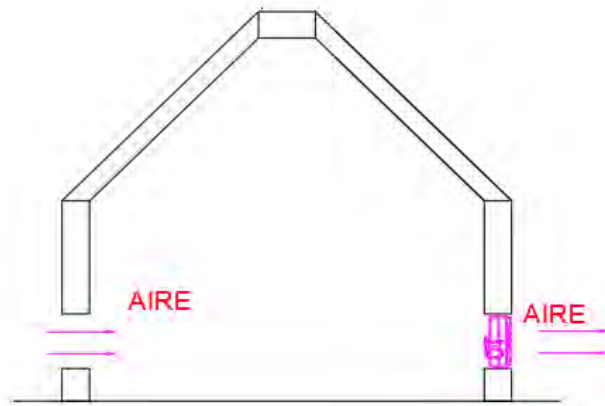


Figura 1.10 Ambiente con presión negativa con respecto a la atmosférica

Nota: En la figura 1.9 se presenta un esquema de ventilación por sobrepresión, un sistema que genera una diferencia de presión entre dos zonas mediante la inyección de aire a través de un ventilador mecánico. En este caso, la presión dentro del ambiente es mayor que la presión atmosférica, lo que permite mantener condiciones seguras y evitar la entrada de humo o contaminantes. Este tipo de ventilación es especialmente útil en la presurización de escaleras, asegurando rutas de evacuación seguras en caso de incendio.

1.5. Ventiladores

Los ventiladores son turbomáquinas rotativas que reciben energía mecánica para sostener un flujo constante de aire, aumentando su presión. Estos equipos eléctricos se utilizan para mover aire en sistemas de ventilación, ya que aumentan su velocidad, ya sea inyección o extracción, en un ambiente cerrado. Por lo general, esta turbomáquina se encuentra dentro de una estructura que dirige el flujo de aire en la dirección deseada y evita el contacto con otros objetos, ya que sus aspas giran a altas velocidades.

Los ventiladores se componen de las siguientes partes:

- **Elemento rotativo:** Llamado impulsor o rotor, el cual transforma la energía mecánica proporcionada por el motor en energía de movimiento (energía cinética) del gas que conduce.
- **Carcasa:** Es el componente que alberga el rotor y facilita la dirección del flujo de aire hacia la orientación deseada.
- **Eje:** Elemento constructivo diseñado para guiar el movimiento de rotación, conectando la turbina con el motor mediante acoples, poleas, etc.
- **Motor:** Es una máquina responsable de transformar la energía; en este caso, convierte la energía eléctrica en energía mecánica, permitiendo que la turbina funcione y transporte el gas.

1.5.1. Tipos de ventiladores

La selección de ventiladores depende de caudal volumétrico, presión, tipo de fluido manipulado, limitaciones de espacio y eficiencia. Generalmente se pueden diferenciar entre dos principales tipos: axiales y centrífugos.

1.5.1.1. Ventiladores centrífugos:

Los ventiladores centrífugos son aquellos en los que el flujo de aire entra de manera paralela al eje de rotación y se expulsa de forma perpendicular a él. En otras palabras, el ingreso es de forma axial y la salida de forma radial. Debido a lo descrito anteriormente, se concluye que la aspiración y descarga forman un ángulo de 90° . Estos ventiladores varían según la forma de ábabe que posean en el rotor (ángulo característico) ya que este determina la velocidad de giro del ventilador.

- **Ventiladores centrífugos con álabes radiales:**

Este tipo de ventilador presenta álabes rectos y alineados. Por su simple diseño, los ventiladores de álabes radiales son adecuados para altas temperaturas y velocidades medias. Sin embargo, son los menos usados debido a su eficiencia y ruido. Este tipo de ventilador es resistente mecánicamente, autolimpiables y de fácil mantenimiento. Son utilizados para transportar materiales polvorientos o granulados. En la figura 1.11 se muestra un rodete de álabes radiales.



Figura 1.11 Rodete con álabes radiales

Tomado de “*ventiladores centrífugos*”, (Loren Cook 2015:8)

Nota: En la figura 1.11 se presenta un rodete con álabes radiales, característico de los ventiladores centrífugos de este tipo. Estos ventiladores están diseñados con álabes rectos y alineados, lo que les permite trabajar eficientemente en aplicaciones que requieren resistencia mecánica, como el transporte de materiales polvorientos o granulados. Aunque son autolimpiables y de fácil mantenimiento, su uso es limitado debido a su menor eficiencia y mayor nivel de ruido en comparación con otros diseños. Este modelo es ideal para ambientes con altas temperaturas y velocidades medias.

- **Ventiladores centrífugos con álabes curvados hacia atrás:**

Estos ventiladores son los más eficientes y utilizados, ya que alcanzan su máximo rendimiento con un consumo óptimo y logran mayor velocidad periférica con bajo nivel de ruido. Esto se debe a que la parte convexa de las palas se mueve en la misma dirección de rotación, lo que mejora el flujo de aire y reduce las pérdidas por choque. Se conocen como ventiladores “sin sobrecarga”, ya que los cambios en la presión estática no afectan la carga del motor. Este tipo de ventilador se emplea en diversas aplicaciones, como en viviendas, edificios, recuperadores de calor, extracción en cocinas, sistemas HVAC, entre otros. En la figura 1.12 se muestra un rodete con álabes hacia atrás.



Figura 1.12 Rodete con álabes hacia atrás

Tomado de “*ventiladores centrífugos*”, (Loren Cook 2015:7)

Nota: En la figura 1.12 se ilustra un rodete con álabes curvados hacia atrás, característico de los ventiladores centrífugos más eficientes y ampliamente utilizados. Este diseño permite alcanzar un rendimiento óptimo con un bajo consumo de energía, logrando velocidades periféricas altas y generando menos ruido. La curvatura hacia atrás mejora el flujo de aire y minimiza las pérdidas por choque, siendo ideales para aplicaciones en sistemas HVAC, extracción en cocinas, viviendas y edificios. Además, se les denomina ventiladores “sin sobrecarga”, ya que los cambios en la presión estática no afectan significativamente la carga del motor.

- **Ventiladores centrífugos con álabes curvados hacia adelante:**

Se distinguen por contar con un gran número de álabes, y los rodetes de este tipo de ventilador centrífugo tienen álabes curvados en la misma dirección de giro. Estos ventiladores funcionan en entornos limpios, a bajas velocidades periféricas y a temperaturas bajas. Son ideales para mover grandes volúmenes de aire contra presiones relativamente bajas. Sin embargo, un inconveniente es que no son aptos para trabajar con aire polvoriento, ya que las partículas pueden adherirse a los álabes curvados, lo que podría causar turbulencias en el rotor. En la figura 1.13 se muestra un rodete con álabes hacia adelante.



Figura 1.13 Rodete con álabes hacia adelante

Tomado de “*ventiladores centrífugos*”, (Loren Cook 2015:8)

Nota: En la figura 1.13 se muestra un rodete con álabes curvados hacia adelante, característico de los ventiladores centrífugos diseñados para mover grandes volúmenes de aire contra presiones relativamente bajas. Este tipo de ventilador es ideal para entornos limpios y funciona eficientemente a bajas velocidades periféricas y temperaturas. Sin embargo, no es adecuado para aplicaciones con aire polvoriento, ya que las partículas pueden adherirse a los álabes, generando turbulencias en el rotor y disminuyendo la eficiencia del equipo

1.5.1.2. Ventiladores axiales

Los ventiladores axiales son dispositivos en los que el aire entra y sale en dirección paralela al eje del rotor. Son ideales para mover grandes volúmenes de aire a bajas presiones y destacan por su alta eficiencia mecánica. Se usan frecuentemente en sistemas de ventilación para inyectar o extraer aire. No obstante, su desempeño disminuye en aplicaciones de alta presión, donde además tienden a generar niveles elevados de ruido, un factor importante a tener en cuenta al seleccionarlos. Existen tres tipos de ventiladores axiales.:

- **Ventiladores de hélice:**

Este tipo de ventiladores se usan cuando la resistencia al flujo de aire es baja y en lugares donde el sistema de conducción es corta ya que comunican poca presión al aire. Su ventaja de estos equipos es que puede suministrar grandes cantidades de flujo de aire y económicamente factible en comparación con los otros tipos de ventiladores. Uno de sus campos de aplicación más importante es desplazar aire bajo condiciones de libre aspiración y descarga. En la figura 1.14 se muestra un ventilador de hélice.



Figura 1.14 Ventilador de hélice

Tomado de “*catálogo general*”, (Soler&Palau 2020: 58)

Nota: En la figura 1.14 se muestra un ventilador de hélice, un equipo diseñado para condiciones de baja resistencia al flujo de aire y sistemas de conducción cortos. Este tipo de ventilador es capaz de mover grandes volúmenes de aire con poca presión, siendo una opción económica y eficiente en comparación con otros modelos. Su principal aplicación es desplazar aire bajo condiciones de libre aspiración y descarga, ideal para entornos donde no se requiere una gran fuerza de ventilación.

- **Ventiladores de tubo axiales:**

Ventilador de diseño tubular que se caracteriza por su rendimiento (aproximadamente 70-85%), poco tamaño y su simple instalación debido a que se montan directamente en los conductos circulares. Consta de una hélice montada en un tubo con un motor acoplado directamente a la hélice. Su campo de aplicación es en sistemas de ventilación de extracción de humos y monóxido. Una desventaja es que presenta altos ruidos al momento de su funcionamiento y debido a que presentan un peso considerable, afecta al montaje. En la figura 1.15 se muestra un ventilador tubo axial.



Figura 1.15 Ventilador tubo axial

Tomado de “*catálogo general*”, (Soler&Palau 2020: 88)

Nota: En la figura 1.15 se muestra un ventilador tubo-axial, caracterizado por su diseño tubular compacto y su rendimiento eficiente (entre 70% y 85%). Este tipo de ventilador es de fácil instalación al montarse directamente en conductos circulares y cuenta con una hélice acoplada a un motor en su interior. Su principal aplicación es en sistemas de ventilación para la extracción de humos y monóxido. Sin embargo, presenta desventajas como altos niveles de ruido durante su funcionamiento y un peso considerable que puede complicar su montaje.

- **Ventiladores con aletas guía**

Este tipo de ventilador tiene una estructura similar a la de los ventiladores turbo-axiales, pero con una característica adicional: aletas guía en el lado de descarga. Estas aletas están diseñadas para enderezar el flujo de aire a la salida, haciéndolo más rectilíneo. Esto no solo reduce la turbulencia, sino que también mejora significativamente su eficiencia mecánica, que puede llegar hasta un 85%, y aumenta su capacidad de generar presión. Sin embargo, una de las principales desventajas de este diseño es el nivel de ruido que produce durante su operación, lo que puede ser un inconveniente en ciertos entornos. En la figura 1.16 se ilustra un ventilador equipado con aletas guía, mostrando cómo estas están integradas en su diseño.

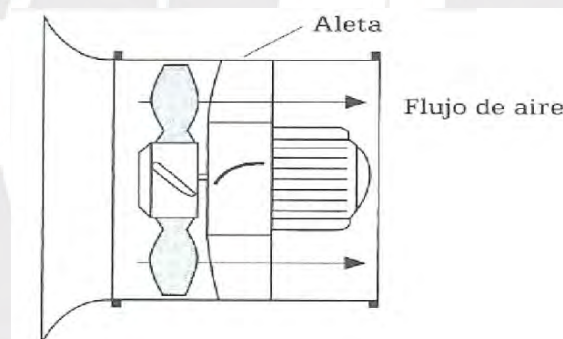


Figura 1.16 Ventilador con aletas guía

Tomado de “*Manual práctico de ventilación*”, (Soler&Palau 2012: 40)

Nota: En la figura 1.16 se presenta un ventilador con aletas guía, diseñado con una estructura similar a la de los turbo-axiales, pero con la adición de aletas en el lado de descarga. Estas aletas permiten que el flujo de aire salga de manera rectilínea, reduciendo la turbulencia y aumentando la eficiencia mecánica hasta un 85% junto con su capacidad de presión. No obstante, una desventaja notable de este tipo de ventilador es el nivel elevado de ruido producido durante su funcionamiento.

1.6. Sistemas de control de monóxido de carbono

Los sistemas de control de monóxido de carbono (CO) son elementos fundamentales para garantizar la seguridad y calidad del aire en estacionamientos subterráneos, donde la acumulación de este gas, producto de la combustión incompleta de motores de vehículos, puede representar un riesgo grave para la salud humana. Estos sistemas están compuestos principalmente por una red de detectores estratégicamente instalados en puntos clave dentro del sótano. Su función principal es medir de manera continua y precisa la concentración de monóxido de carbono en el ambiente.

Cuando los detectores registran que la concentración de CO alcanza o supera el límite de seguridad establecido en 50 ppm (partes por millón), que es el estándar aceptado en Perú, el sistema envía automáticamente una señal a una central de control conectada al sistema de ventilación del estacionamiento. Esto activa de inmediato los ventiladores, permitiendo la extracción del aire contaminado y su reemplazo por aire fresco del exterior. Este proceso asegura que las condiciones ambientales del sótano se mantengan dentro de límites seguros para los usuarios y previene riesgos asociados con la exposición prolongada al monóxido de carbono, como mareos, náuseas e incluso intoxicación severa.

Es importante resaltar que estos sistemas permiten ajustes dinámicos del nivel de ppm necesario para activar los ventiladores, lo cual optimiza su operación y evita un uso innecesario, contribuyendo al ahorro energético. Además, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo anual de estos dispositivos, considerando que tienen una vida útil promedio de **cinco años**. Este mantenimiento incluye la calibración de los sensores, limpieza de los componentes, y reemplazo de partes desgastadas, asegurando que continúen funcionando de manera eficiente.

A continuación, se describen los tipos de controles de ventilación que pueden implementarse en el proyecto:

- **Control de volumen de aire variable (VAV):**

Este sistema está diseñado para gestionar el acondicionamiento de múltiples espacios de forma eficiente, adaptándose a las diferentes necesidades de ventilación en cada ambiente. El control VAV ajusta el **gasto volumétrico de aire** mediante cajas terminales distribuidas en el sistema de ductos. La **velocidad del ventilador** varía en función de la demanda específica del usuario o del nivel de contaminación detectado, lo que permite optimizar tanto la calidad del aire como el consumo energético. Este enfoque flexible hace que sea ideal para aplicaciones en estacionamientos donde las concentraciones de

monóxido de carbono pueden cambiar drásticamente en cortos períodos debido al flujo variable de vehículos.

- **Control de flujo de volumen constante:**

Este sistema es más tradicional y se enfoca en mantener un flujo constante de aire en el espacio, sin importar las condiciones específicas de carga o los niveles de contaminación en un momento dado. Su principal ventaja radica en garantizar una ventilación uniforme en todo el estacionamiento, lo cual puede ser útil en situaciones donde los detectores de CO no son lo suficientemente sensibles o no están presentes en todas las áreas. Sin embargo, una desventaja de este sistema es que **no permite ahorro energético**, ya que el ventilador opera de manera continua, incluso en momentos de baja contaminación.

- **Control On/Off:**

Este sistema de ventilación se activa o desactiva en función de la **señal emitida por los sensores de monóxido de carbono**. Es una solución sencilla y eficiente para espacios donde la concentración de contaminantes tiende a variar bruscamente. Cuando el nivel de CO alcanza el umbral establecido, los ventiladores se encienden automáticamente y permanecen en funcionamiento hasta que los niveles de gas descienden por debajo del límite de seguridad. Este sistema permite un uso más racional de la energía, ya que los ventiladores solo operan cuando es estrictamente necesario.

1.6.1. Sistema de control automático para sistemas de ventilación de monóxido de carbono

En estacionamientos subterráneos, garantizar una ventilación eficiente es esencial tanto para proteger la salud de los usuarios como para optimizar el consumo energético del sistema. Para lograrlo, es fundamental implementar un sistema de control automático que asegure la calidad del aire mediante la extracción de gases contaminantes, como el monóxido de carbono (CO), y promueva un uso racional de la energía eléctrica.

De acuerdo con las recomendaciones de la Asociación Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE), un sistema de este tipo debe integrar los siguientes componentes clave:

- **Sensores de monóxido de carbono:**

Estos dispositivos son el núcleo del sistema de control automático, ya que monitorean constantemente la concentración de CO en el aire. Los sensores están distribuidos estratégicamente en todo el estacionamiento, especialmente en áreas de alta circulación de vehículos o en puntos donde la acumulación de contaminantes puede ser más pronunciada. Su función principal es medir la cantidad de CO en el ambiente y enviar señales al sistema de ventilación cuando los niveles detectados exceden los valores preestablecidos.

- **Variadores de velocidad:**

Estos elementos permiten ajustar la velocidad de los ventiladores según las necesidades reales del sistema. Por ejemplo, en momentos de baja concentración de CO, los ventiladores pueden operar a una velocidad reducida, minimizando el consumo energético. En cambio, cuando los niveles de CO se elevan, los variadores incrementan automáticamente la velocidad del flujo de aire para garantizar una extracción más rápida y eficiente de los gases.

- **Ventiladores estratégicamente distribuidos:**

La disposición de los ventiladores en el estacionamiento es crucial para asegurar una circulación uniforme del aire. Los ventiladores deben colocarse en ubicaciones que permitan cubrir todas las áreas del sótano, evitando zonas muertas donde los gases puedan acumularse. Además, deben estar dimensionados adecuadamente para manejar el volumen de aire necesario según el tamaño y la configuración del espacio.

Funcionamiento del sistema

El uso de sensores inteligentes permite que el sistema opere únicamente cuando es necesario, eliminando el funcionamiento continuo e innecesario de los ventiladores. Este enfoque no solo reduce el consumo energético, sino que también extiende la vida útil de los equipos, ya que minimiza el desgaste por uso constante.

Por ejemplo, el sistema se activa automáticamente cuando los sensores detectan una **concentración de monóxido de carbono de 35 ppm (partes por millón)**. Este nivel es considerado seguro para la salud humana y está por debajo del límite máximo permitido por normativas internacionales. Al activarse, el sistema regula la velocidad de los ventiladores y

ajusta la ventilación de manera proporcional a la concentración de CO detectada, asegurando una respuesta eficiente y oportuna.

Beneficios del sistema

- **Optimización de la ventilación:**

Al operar solo en función de la necesidad real, el sistema garantiza que el aire contaminado sea reemplazado por aire fresco de manera efectiva, manteniendo un ambiente seguro para los usuarios.

- **Ahorro energético:**

La integración de sensores y variadores de velocidad permite un uso racional de la energía eléctrica, reduciendo los costos operativos del sistema.

- **Reducción de riesgos:**

Al controlar de manera precisa la acumulación de gases tóxicos, el sistema disminuye significativamente los riesgos asociados con la exposición al monóxido de carbono, como intoxicaciones o condiciones de emergencia.

- **Cumplimiento normativo:**

La implementación de estos sistemas asegura que el estacionamiento cumpla con los estándares establecidos por ASHRAE y otras normativas locales e internacionales en materia de ventilación y calidad del aire.

En la figura 1.17 se ilustra cómo funciona un sistema de control de monóxido de carbono diseñado específicamente para estacionamientos subterráneos, destacando la integración de sensores y ventiladores en su configuración.

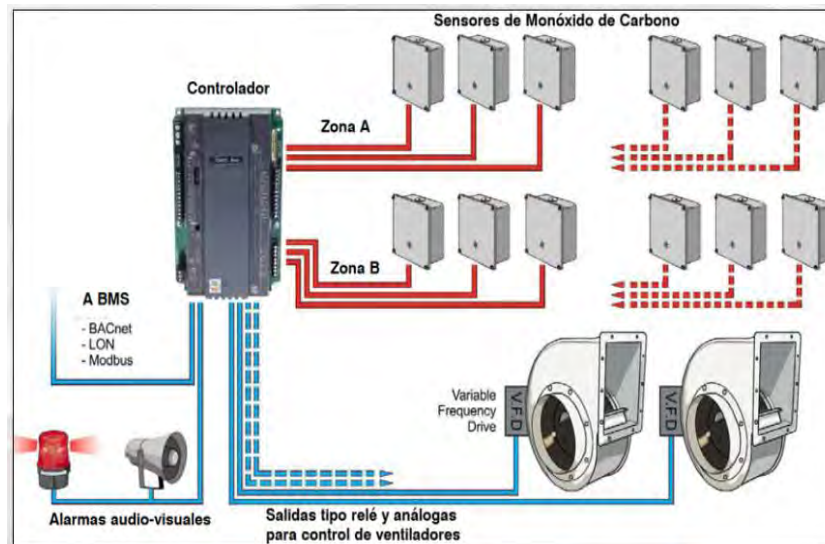


Figura 1.17 Sistema de control de monóxido de carbono en estacionamientos

Tomado de “control de sistemas de ventilación en estacionamientos”, por Logen

Nota: En la figura 1.17 se ilustra un sistema de control automático para la ventilación de monóxido de carbono en estacionamientos subterráneos. Este sistema integra sensores de monóxido de carbono que monitorean constantemente la calidad del aire. Cuando la concentración alcanza un umbral de 35 ppm, los sensores envían señales al controlador, activando los ventiladores mediante variadores de velocidad. Esto optimiza el uso de energía al evitar el funcionamiento continuo de los ventiladores. Además, el sistema incluye alarmas audiovisuales para alertar en caso de niveles peligrosos, garantizando un ambiente seguro y eficiente.

A continuación, se presenta los elementos del control automático de sistemas de ventilación en estacionamientos

- **Ventiladores**
- **Sensores de monóxido de carbono**

Los sensores de monóxido de carbono son dispositivos de alerta temprana que detectan altos niveles de este gas al verificar constantemente la calidad del aire en el entorno. Estos sensores proporcionan información precisa sobre la concentración de monóxido de carbono en los sótanos y envían una señal para activar el sistema de ventilación cuando los niveles son inferiores a 35 ppm. Su instalación es bastante simple, ya que se colocan en la zona que se desea monitorear y funcionan con pilas. En la figura 1.18 se muestra un sensor de monóxido de carbono.



Figura 1.18 Sensor de monóxido de carbono

Tomado de “*ficha técnica de sensor de monóxido*”, (Optimal Controls 2021:1)

Nota: En la figura 1.18 se muestra un sensor de monóxido de carbono, un dispositivo diseñado para monitorear continuamente la calidad del aire en entornos cerrados como estacionamientos subterráneos. Estos sensores detectan concentraciones de monóxido de carbono superiores a 35 ppm y envían una señal para activar el sistema de ventilación automáticamente. Su instalación es sencilla, ya que se colocan en las áreas a monitorear y funcionan con baterías, garantizando una supervisión confiable y eficiente del ambiente.

- **Controladores**

El controlador lee las lecturas de los sensores de monóxido de carbono y en base a la programación que presenta, dará una señal de arranque y paro del sistema de ventilación. Este debe poseer funciones de seguridad, ahorros de energía y eficiencia. Los tipos de controladores más comunes para los sistemas de ventilación en estacionamientos son los controladores digitales directos y los controladores lógicos programables. En la figura 1.19 se muestra un controlador para sistemas de ventilación.



Figura 1.19 Controlador para sistemas de ventilación

Tomado de “controlador de sistemas de monóxido de carbono en estacionamientos”,

(Optimal Controls 2021:1)

Nota: En la figura 1.19 se observa un controlador para sistemas de ventilación en estacionamientos subterráneos. Este dispositivo interpreta las lecturas de los sensores de monóxido de carbono y, según su programación, envía señales para arrancar o detener el sistema de ventilación. Los controladores desempeñan un papel esencial al garantizar la seguridad, optimizar el consumo de energía y mejorar la eficiencia del sistema. Existen dos tipos principales de controladores: los digitales directos y los lógicos programables, ambos adaptados a las necesidades específicas del sistema.

- **Variadores de velocidad**

Los variadores de velocidad son dispositivos clave para controlar la velocidad de rotación de motores de corriente alterna, ajustando las revoluciones por minuto (RPM) de acuerdo con las necesidades del sistema. En este caso, el variador regula la velocidad de los ventiladores mediante cambios en la frecuencia de la corriente eléctrica suministrada al motor.

Esta tecnología no solo optimiza el rendimiento del equipo, sino que también mejora significativamente la eficiencia energética. Al adaptar la potencia del motor a los requisitos específicos del proceso, se evita el desperdicio de energía, logrando una reducción en el consumo que puede oscilar entre el 20% y el 70%. Esto no solo representa un ahorro económico considerable, sino que también contribuye a la sostenibilidad al disminuir la huella energética.

En la figura 1.20 se ilustra un variador de frecuencia de la marca ABB, que es un ejemplo de cómo este tipo de tecnología se implementa para maximizar la eficiencia en sistemas industriales y de ventilación.



Figura 1.20. Variadores de frecuencia ABB

Tomado de “convertidores de frecuencia AA de propósito general”, (ABB 2016: 13)

Nota: En la figura 1.20 se ilustra un variador de velocidad de la marca ABB, un componente clave para el control eficiente de motores de corriente alterna. Estos dispositivos ajustan la velocidad rotacional del motor mediante un cambio en la frecuencia de la corriente, lo que permite adaptar la velocidad a los requerimientos del proceso. Los variadores mejoran la eficiencia energética, reducen el consumo de energía en un rango de 20 a 70% y regulan la potencia del motor, optimizando así el rendimiento del sistema de ventilación.



CAPÍTULO 2

DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN

En este capítulo se presenta el diseño del sistema de ventilación del proyecto, cuyo principal objetivo es garantizar la renovación continua del flujo de aire en los sótanos con el fin de reducir la concentración de contaminantes presentes en estos espacios cerrados. Este diseño abarca diversos aspectos fundamentales que incluyen el cálculo de los caudales necesarios para los sistemas de inyección de aire fresco, la extracción de monóxido de carbono y la gestión de humos en caso de incendio.

Asimismo, se detalla la selección del tipo de sistema de ventilación más adecuado para las necesidades específicas del proyecto, considerando tanto la eficiencia como el cumplimiento de las normativas vigentes. El proceso también incluye el cálculo y selección de los diferentes equipos a implementar, como ventiladores, sensores de monóxido de carbono, diseño de ductos, soportes y componentes del sistema eléctrico. Este enfoque integral asegura que el diseño propuesto no solo cumpla con los requerimientos técnicos, sino que también garantice la seguridad y el confort de los usuarios del edificio.

2.1. Tipo de sistema

El diseño del sistema de ventilación, destinado a operar en sótanos subterráneos, requiere la instalación de un sistema de ventilación forzada basado en equipos electromecánicos, en cumplimiento con las normativas nacionales e internacionales. Este sistema debe ser capaz de gestionar eficazmente el aire contaminado generado en estos espacios cerrados, lo que implica determinar tanto las estrategias de manejo del aire como los equipos específicos necesarios para garantizar la calidad del ambiente interior.

Para lograrlo, es esencial comprender las características particulares de los sótanos subterráneos en relación con los niveles de contaminación que pueden presentarse. Este análisis permitirá seleccionar y dimensionar adecuadamente los equipos de ventilación, así como establecer las estrategias de extracción y renovación del aire que aseguren condiciones seguras y saludables para los usuarios de estos espacios.

A continuación, se presenta algunas de estas características específicas de los estacionamientos subterráneos.

- Gran cantidad de contaminantes
- Variabilidad en el tiempo de operación
- Variabilidad en su posición

Por lo tanto, tomando en cuenta lo mencionado anteriormente, es necesario diseñar un sistema de ventilación forzada que garantice una adecuada renovación del aire en el espacio. Este sistema funciona permitiendo que el aire del exterior ingrese y se mezcle con los contaminantes presentes en el ambiente. Una vez que el aire contaminado ha sido diluido, el sistema lo extrae y lo expulsa al exterior de manera controlada mediante ventiladores forzados.

Este proceso asegura una mejora en la calidad del aire, reduciendo la concentración de contaminantes y creando un entorno más seguro y saludable para las personas. En la figura 2.1 se ilustra el principio básico de la ventilación general, destacando el flujo de entrada, mezcla y extracción del aire dentro del sistema.

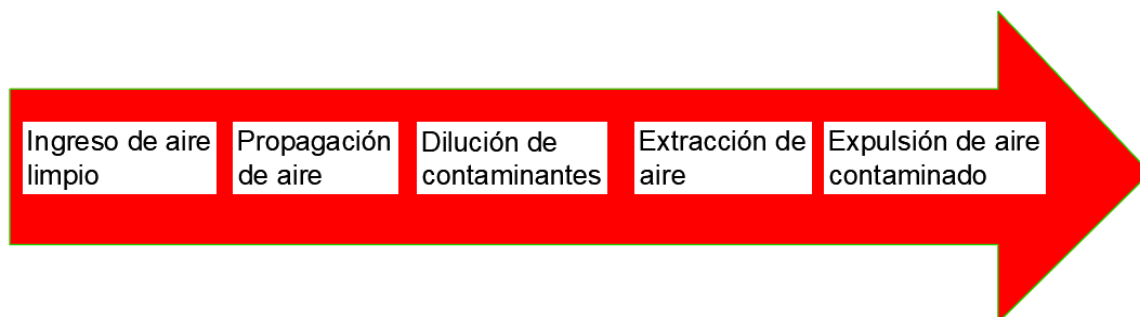


Figura 2.1 Principio de ventilación general

Nota: En la figura 2.1 se representa el principio general de ventilación mediante un diagrama de flujo en forma de flecha. Este principio abarca cinco etapas principales: el ingreso de aire limpio, su propagación dentro del espacio, la dilución de contaminantes presentes, la extracción del aire contaminado y, finalmente, su expulsión al exterior. Este esquema visual simplifica el proceso integral de ventilación, destacando cada una de las fases esenciales para garantizar un ambiente limpio y saludable.

El principio de ventilación forzada consiste en un sistema de inyección y extracción de aire, es decir ventilación mixta con ventiladores mecánicos. Para ello es importante definir que equipos se encargarán de realizar estos sistemas. Por otro lado, el sistema que se usa en estacionamientos subterráneos es por depresión para que haya seguridad de que el aire contaminado sea extraído del ambiente.

Como se mencionó en el capítulo anterior, los sistemas de control de monóxido de carbono son unos detectores ubicados en los sótanos de estacionamientos que tienen como objetivo medir la concentración de monóxido de carbono. Este equipo entrega una señal a una central conectada

con el sistema de ventilación, la cual se activa si la concentración de monóxido de carbono en el ambiente es mayor o igual que 50 ppm en Perú. Sin embargo, este equipo permite regular la cantidad de ppm para que los ventiladores se activen si en caso fuese necesario. Entonces cada nivel del sótano presentará estos sistemas de control de monóxido independientes.

El proyecto mecánico de extracción de monóxido plantea una montante central de extracción que atraviesa todos los sótanos de estacionamiento. En el último nivel debe instalarse un equipo de extracción de monóxido y humos para la succión de aire contaminado de todos los sótanos. Este sistema plantea 3 montantes de inyección de aire fresco por cada sótano. Se debe inyectar menos aire de lo que se extrae para que la diferencia de caudal pueda ingresar al sótano por sus propios medios (principalmente por rampas de acceso vehicular) y de esta manera facilitar el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- Minimizar la diferencia de presión que pueda dificultar la apertura de las puertas de evacuación en escaleras.
- Minimizar la capacidad del humo de invadir otras zonas del edificio.
- Garantizar un caudal mínimo de trabajo que permita a los ventiladores de extracción remover la cantidad de humo requerida.

Dentro de la filosofía de funcionamiento, se requiere que los equipos de inyección y extracción trabajen a su máxima capacidad en caso de detectarse un incendio en el sótano de estacionamiento. Se deberá colocar un dámper motorizado certificado corta-humo en la descarga de los ventiladores de extracción para evitar el retorno y la recirculación del humo.

2.2. Caudal de ventilación de monóxido de carbono

El caudal de ventilación se refiere a la cantidad de aire que pasa a través de una sección específica en un período de tiempo determinado. En el caso de la ventilación para el control del monóxido de carbono, este caudal debe ser adecuado para mantener condiciones ambientales seguras y confortables. Esto implica no solo la dilución y eliminación del monóxido de carbono, sino también el control de otros factores como el exceso de calor y los malos olores, asegurando así un ambiente limpio y saludable para los ocupantes.

La norma internacional UNE 100-196 establece que el cálculo del aire necesario debe centrarse principalmente en diluir el monóxido de carbono hasta niveles aceptables. Este enfoque se basa en el hecho de que, al alcanzar estos niveles, también se logra controlar eficazmente la presencia de otras sustancias contaminantes que puedan estar presentes en el ambiente. Este

método simplifica el diseño y asegura que se cumplan los estándares de calidad ambiental, protegiendo la salud de los usuarios en espacios cerrados como estacionamientos subterráneos.

2.2.1. Métodos de cálculo de caudal de diseño

Existen diferentes métodos para el cálculo del caudal de un sistema de ventilación para estacionamientos cerrados. Estos son los siguientes:

- **Método por Renovaciones de aire**

Diversos organismos y autores, tanto nacionales como internacionales, proporcionan recomendaciones sobre la cantidad de renovaciones completas de aire por hora que deben realizarse en espacios como estacionamientos cerrados. Para calcular el caudal de diseño necesario, basta con conocer el volumen total del estacionamiento. Este enfoque simplifica el cálculo inicial, pero presenta una limitación importante: no considera otros factores que pueden influir en la calidad del aire, como la cantidad de vehículos en operación, las emisiones generadas, ni las características específicas del edificio o su ventilación natural.

En la tabla 2.1 se detallan las tasas de renovaciones de aire recomendadas por diferentes organismos para garantizar condiciones adecuadas en estacionamientos cerrados, tomando en cuenta estándares de calidad y seguridad ambiental.

Tabla 2.1 Renovaciones de aire para estacionamientos cerrados (*)

Estándar	Renovaciones por hora (N)
S&P	6-8
RNE	5
DIN 1946	5
Reino Unido	6-10
BOCA	6
SBCCI	6-7

(*) Tomado de “*renovaciones de aire según estándares*”, (Krarti 2001:53) (EM.030 2020: 33)

Nota: Se muestra en la tabla los valores recomendados para las renovaciones de aire por hora en estacionamientos cerrados, según diferentes estándares internacionales. Por ejemplo, el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y la norma DIN 1946 establecen un mínimo de 5 renovaciones por hora, mientras que en el Reino Unido el rango recomendado es de 6 a 10 renovaciones por hora. Otros estándares como S&P sugieren entre 6 y 8 renovaciones, y el SBCCI indica entre 6 y 7.

Una vez obtenido las renovaciones por hora, se halla el volumen total del estacionamiento:

V_e : volumen total del estacionamiento

A_e : área del estacionamiento

h_e : altura del estacionamiento

$$V_e = A_e * h_e \quad (2.1)$$

Luego se halla el caudal de diseño de monóxido

$$Q_m = V_t * N \quad (2.2)$$

Para este proyecto se tomará la recomendación del reglamento nacional de edificaciones (RNE), la cual es 5 renovaciones por hora. En la tabla 2.2 se obtiene los resultados del caudal por sótano:

Tabla 2.2. Caudal por sótano de acuerdo con el método de renovaciones por hora

Descripción	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3	Sótano 4-5
Área	A_e	m ²	1407	1714	1771	1954
Altura	h_e	m	5	2.8	2.8	2.8
Volumen	V_e	m ³	7035	4799.2	4958.8	5471.2
Renovaciones por hora	N	rev/h	5	5	5	5
Caudal 1er método	Q_m	m ³ /h	35175	23996	24794	27356
Caudal 1er método	Q_m	CFM	20703.22	14123.51	14593.2	16101.13

Nota: Se muestra en la tabla el cálculo del caudal de aire por sótano, determinado mediante el método de renovaciones por hora. Cada sótano tiene especificados su área, altura y volumen, junto con el número de renovaciones necesarias por hora, fijado en 5 según el estándar aplicado. El caudal resultante se presenta en unidades de m³/h y CFM (pies cúbicos por minuto). Por ejemplo, en el sótano 1, con un volumen de 7035 m³, se requiere un caudal de 35175 m³/h o 20703.22 CFM, mientras que en los sótanos 4 y 5 el caudal alcanza los 27356 m³/h o 16101.13 CFM.

- **Método por caudal recomendado**

Diversos organismos y regulaciones, tanto a nivel nacional como internacional, ofrecen recomendaciones sobre los flujos de aire por unidad de área, diseñadas para mantener una ventilación adecuada en estacionamientos. Estas directrices se basan en estudios y ensayos realizados en distintos tipos de estacionamientos, considerando factores como la densidad de vehículos, los niveles de emisión de contaminantes y las características del espacio. Sin embargo, al ser demasiado generales, tienden a estar sobredimensionadas, ya que no consideran las características específicas de cada estacionamiento ni el tipo de edificación. Esto puede resultar en la necesidad de equipos de mayor capacidad y, por ende, en costos más altos.

En la tabla 2.3 se muestra los caudales recomendados para estacionamientos cerrados por organismo.

Tabla 2.3. Caudales recomendados para estacionamientos cerrados (*)

Estándar	Caudal (L/s.m ²)
ASHRAE	7.6
ICBO	7.6
FINLAND	2.7
PERÚ	3.3
SWEDEN	0.91
JAPAN	6.35-7.62

(*) Tomado de “caudales recomendados según estándares”, (Karti 2001:53) (EM.030 2020: 33)

Nota: Se muestra en la tabla los caudales de ventilación recomendados para estacionamientos cerrados, según diferentes estándares internacionales. Por ejemplo, tanto ASHRAE como ICBO sugieren un caudal de 7.6 L/s·m², mientras que en Finlandia el valor recomendado es de 2.7 L/s·m². En Perú, el Reglamento Nacional de Edificaciones establece un caudal de 3.3 L/s·m², mientras que en Japón los valores varían entre 6.35 y 7.62 L/s·m². Por otro lado, Suecia tiene el menor valor recomendado con 0.91 L/s·m².

Para este proyecto se tomará la recomendación del “Reglamento nacional de edificaciones” (RNE), la cual indica que:

“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 12 metros cúbicos por hora por metro cuadrado”.

En la tabla 2.4 se muestran los valores de caudal por sótano de acuerdo con este método.

Tabla 2.4. Caudal por sótano de acuerdo con el método de caudal recomendado

Descripción	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3	Sótano 4-5
Área	A_e	m ²	1407	1714	1771	1954
Altura	h_e	m	5	2.8	2.8	2.8
Volumen	V_e	m ³	7035	4799.2	4958.8	5471.2
Caudal por área	Q_a	$\frac{m^3}{h \cdot m^2}$	12	12	12	12
Caudal 2do método	Q_m	m ³ /h	16884	20568	21252	23448
Caudal 2do método	Q_m	CFM	9937.54	12105.87	12508.45	13800.97

Nota: Se muestra en la tabla el cálculo del caudal de ventilación por sótano utilizando el método de caudal recomendado, basado en un caudal por área de 12 m³/h·m². Cada sótano tiene especificados su área, altura y volumen, junto con el caudal resultante en unidades de m³/h y CFM. Por ejemplo, para el sótano 1, el caudal necesario es de 16884 m³/h o 9937.54 CFM, mientras que para los sótanos 4 y 5 el caudal calculado es de 23448 m³/h o 13800.97 CFM.

- **Método según procedimiento ASHRAE:**

Según Moncef Krarti, miembro de ASHRAE, existe un procedimiento general para determinar el caudal de diseño requerido para ventilar un estacionamiento cerrado. Este método de cálculo es el más apropiado debido a que el resultado es más exacto a comparación de los otros métodos.

PASO 1: Recopilación de datos

- Número de automóviles en funcionamiento durante la hora de mayor uso (N_v)
- Tasa de emisión de CO promedio para un automóvil típico por hora (g/h) (ER).
- Tiempo promedio de operación y tiempo de viaje para vehículos en estacionamientos (T_{op}).
- Nivel de concentración de CO aceptable dentro de $CO_{máx}$ de estacionamientos (ppm).
- Área de la zona de estacionamiento (A_e)

PASO 2: Hallar la tasa de generación de monóxido de carbono

Determinar la tasa de generación normalizada.

$$f_g = \frac{GR}{GR_0} * 100 \quad (2.3)$$

Se determina la tasa máxima de generación de monóxido de carbono (GR) para el estacionamiento por unidad de área ($g/(h * m^2)$)

$$GR = \frac{N_v * ER}{A_e} * 100 \quad (2.4)$$

PASO 3

Determinar el caudal de ventilación mínimo por unidad de área ($l/(s * m^2)$)

C: Correlación dependiente de $CO_{máx}$

$$q = C * f_g * T_{op} \quad (2.5)$$

De acuerdo Nivel de concentración de CO aceptable dentro de $CO_{máx}$ de estacionamientos (ppm):

$$C = 1.204 * 10^3 \frac{L}{m^2 * s^2} \text{ o } 2.37 * 10^4 \frac{cfm}{ft^2 * s} \text{ para } 15 \text{ ppm}$$

$$C = 0.692 * 10^3 \frac{L}{m^2 * s^2} \text{ o } 1.363 * 10^4 \frac{cfm}{ft^2 * s} \text{ para } 25 \text{ ppm}$$

$$C = 0.482 * 10^3 \frac{L}{m^2 * s^2} \text{ o } 0.948 * 10^4 \frac{cfm}{ft^2 * s} \text{ para } 35 \text{ ppm}$$

2.2.2. Cálculo del caudal de ventilación

De acuerdo con los métodos de caudal de diseño de ventilación mostrados, se calcula método según procedimiento ASHRAE.

2.2.2.1. Número de vehículos en operación en la hora de mayor uso

Para estimar el número de automóviles en funcionamiento durante la hora de mayor uso (N), es fundamental considerar que este valor está directamente relacionado con la actividad del estacionamiento. Una forma práctica de determinarlo es mediante el uso de porcentajes basados en la capacidad total del estacionamiento. Estos porcentajes reflejan el número de vehículos que probablemente estarán en operación durante la hora punta, considerando factores como el tipo de uso del estacionamiento y su ubicación.

En la tabla 2.5 se presentan los porcentajes típicos de vehículos en funcionamiento durante los periodos de mayor actividad, proporcionando una guía para calcular esta variable en función de las características específicas del espacio analizado.

Tabla 2.5 Porcentaje de vehículos en operación en un estacionamiento en hora punta (*)

Tipo de uso	Porcentaje de la capacidad del estacionamiento (%)
Continuo (Centros comerciales, edificios departamentales)	5-10
Otros (estadios deportivos, institucionales, aeropuertos, etc.)	15-20

(*) Tomado de “*sistema de ventilación para estacionamientos subterráneos*”, (ASHRAE 2019:16.19)

Nota: Se muestra en la tabla el porcentaje de vehículos en operación durante la hora punta en un estacionamiento, según el tipo de uso. Para usos continuos, como centros comerciales o edificios departamentales, el porcentaje varía entre el 5% y el 10% de la capacidad total del estacionamiento. En otros usos, como estadios deportivos, instituciones o aeropuertos, el porcentaje aumenta, oscilando entre el 15% y el 20%.

$$N_v = \text{Capacidad total de vehículos} * \% \text{ autos en operación} \quad (2.6)$$

Como este proyecto es un edificio corporativo, donde el uso es continuo debido a que hay flujo de vehículo constante, se considera un 10% de capacidad total.

2.2.2.2. Tasa de emisión de CO promedio para un automóvil por hora

Para determinar la tasa promedio de emisión de monóxido de carbono (CO) de un automóvil típico por hora, expresada en gramos por hora (g/h) y representada como ER, es necesario considerar una serie de factores que influyen directamente en la cantidad de contaminantes emitidos. Entre estos factores destacan las características específicas del vehículo, como el modelo, la antigüedad, el estado del motor y los sistemas de control de emisiones. Adicionalmente, el tipo de combustible utilizado juega un papel clave, ya que diferentes combustibles (como gasolina, diésel o alternativas como el gas natural comprimido) generan diferentes niveles de emisiones de CO. Otro elemento crucial son las condiciones de operación del vehículo. Por ejemplo, las emisiones varían significativamente si el vehículo está en ralentí, en movimiento a baja velocidad o en altas velocidades. Asimismo, las condiciones ambientales, como la temperatura exterior, la altitud y la calidad del aire, pueden influir en el comportamiento del motor y, por ende, en la cantidad de monóxido de carbono emitido. Para simplificar el cálculo de estas tasas de emisión, se utilizan tablas estandarizadas proporcionadas en el manual de ASHRAE. Estas tablas ofrecen valores promedio de emisión de CO basados en datos recopilados de diversas pruebas y escenarios. Son herramientas fundamentales para diseñar sistemas de ventilación en espacios cerrados, como estacionamientos subterráneos, ya que permiten estimar de manera eficiente la cantidad de aire fresco necesaria para diluir el CO a niveles seguros. Además, es importante destacar que las tasas de emisión varían dependiendo de la flota vehicular en cuestión. Por ejemplo, en zonas urbanas donde predominan vehículos modernos con sistemas avanzados de control de emisiones, las tasas de emisión serán menores en comparación con áreas donde los vehículos son más antiguos o no cuentan con sistemas de reducción de contaminantes. Las tablas de ASHRAE permiten adaptar las estimaciones a diferentes contextos, haciendo posible un diseño personalizado del sistema de ventilación que responda a las necesidades específicas del proyecto. En la tabla 2.6 se muestra las tasas de emisiones de CO en estacionamientos subterráneos (ER).

Tabla 2.6 Tasas de emisiones de CO en estacionamientos subterráneos (ER) (*)

Temporada	Emisiones calientes (gramos/min)		Emisiones frías (gramos/min)	
	1991	1996	1991	1996
Verano (32°C o 90°F)	2.54	1.89	4.27	3.66
Invierno (0°C o 32°F)	3.61	3.38	20.74	18.96

(*) Tomado de “sistema de ventilación para estacionamientos subterráneos”, (ASHRAE 2019:16.120)

Nota: Se muestra en la tabla las tasas de emisiones de monóxido de carbono (CO) en estacionamientos subterráneos, diferenciando entre emisiones de motores calientes y fríos, y clasificadas según la temporada. Por ejemplo, en verano, los motores fríos emiten 4.27 gramos/minuto en 1991 y 3.66 gramos/minuto en 1996, mientras que en invierno, las emisiones de motores fríos alcanzan valores más altos, con 20.74 gramos/minuto en 1991 y 18.96 gramos/minuto en 1996.

Se tomará el caso crítico cuando el vehículo sale del estacionamiento y su motor se encuentra frío y operando a baja velocidad. Este tiempo es donde las emisiones son más críticas ya que la mezcla es rica en combustible.

$$ER = 20.74 \frac{\text{g}}{\text{min}} = 1244.4 \frac{\text{g}}{\text{hora}}$$

2.2.2.3. Tiempo de operación promedio para vehículos de estacionamientos

El tiempo de operación de los vehículos que entran o salen de un estacionamiento subterráneo está influenciado por una serie de factores específicos que determinan su duración. Entre ellos, se destacan las características particulares del estacionamiento, como su tamaño, la forma del espacio y la cantidad de vehículos que puede albergar. Según los estándares establecidos por ASHRAE, el tiempo promedio para que un vehículo complete el proceso de entrada o salida puede variar entre 60 y 180 segundos, dependiendo de las condiciones del flujo vehicular y las características del diseño. Además de este rango de tiempo, es importante considerar que las maniobras necesarias para iniciar la marcha y salir del espacio de estacionamiento pueden requerir un tiempo adicional. Este lapso, que incluye encender el vehículo, ajustar la dirección y ejecutar las maniobras de retroceso o avance necesarias para alinearse con el carril de salida, se estima en aproximadamente 60 segundos. Tomando en cuenta un caso práctico, si un vehículo se encuentra estacionado en el lote más alejado del sótano, se necesita considerar también el tiempo de desplazamiento desde su ubicación hasta la rampa de salida. Asumiendo una velocidad promedio de 15 km/h, el tiempo estimado para recorrer esta distancia, sumado al tiempo necesario para iniciar la marcha y realizar las maniobras, se calcula en un promedio total de 180 segundos. Este tiempo incluye no solo el desplazamiento, sino también los ajustes necesarios para salir de manera segura del sótano hacia la rampa de acceso. (ASHRAE, 2021)

$$T_{op} = 100 \text{ seg}$$

2.2.2.4. Resultado de los cálculos mínimo de diseño

En la tabla 2.7 se presentan los valores de los parámetros clave necesarios para determinar el caudal mínimo de diseño para el proyecto.

Tabla 2.7 Resultados de la recolección de información

	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3	Sótano 4-5
Capacidad total de vehículos	N _{vt}	-	36	67	67	73
% de vehículos operando en hora punta	V _{hp}	%	10	10	10	10
Número vehículos en operación	N _v	-	3.6	6.7	6.7	7.3
Tasa de emisión de CO promedio para un automóvil por hora	ER	g/h	1244	1244	1244	1244
Tiempo de operación promedio para vehículos de estacionamientos	T _{op}	seg	100	100	100	100
Concentración máxima admisible de CO	Comáx	ppm	35	35	35	35
Área de estacionamientos	A _e	m ²	1407	1714	1771	1954

Nota: Se muestra en la tabla los resultados de la recolección de información necesaria para calcular los caudales de ventilación en cada sótano. Los datos incluyen la capacidad total de vehículos por sótano, el porcentaje de vehículos operando en hora punta (10%), el número de vehículos en operación, la tasa de emisión promedio de CO por vehículo (1244 g/h), el tiempo promedio de operación (100 segundos), la concentración máxima admisible de CO (35 ppm) y el área de cada sótano.

Se determina la tasa de generación normalizada mediante las ecuaciones 2.3 y 2.4. Se normaliza el valor de la tasa de generación utilizando el valor de referencia $G_{ro} = 26.8 \text{ g/ (h.m}^2\text{)}$. Este se obtuvo en la peor condición de emisión (temporada de invierno) para una instalación de estacionamiento cerrado real. En la tabla 2.8 se muestra los resultados de la tasa de generación de CO normalizada.

Tabla 2.8 Resultados de la tasa de generación de CO normalizada

	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3	Sótano 4-5
Tasa máxima de generación de CO	GR	g/(h * m ²)	3.18	4.86	4.71	4.65
Tasa de generación de CO referencial	GRo	g/(h * m ²)	26.8	26.8	26.8	26.8
Tasa de generación de CO normalizada	f _g	-	11.88	18.14	17.56	17.34

Nota: Se muestra en la tabla los resultados de la tasa de generación de CO normalizada para cada sótano. Los datos incluyen la tasa máxima de generación de CO (GR) en g/(h·m²), que varía entre 3.18 para el sótano 1 y 4.86 para el sótano 2. También se incluye la tasa de generación referencial (GRo) de 26.8 g/(h·m²) y la tasa de generación normalizada (fg_gfg), que refleja valores entre 11.88 y 18.14 dependiendo del sótano.

Con estos datos se halla el caudal mínimo de aire mediante las ecuaciones 2.5. Para esto se necesita saber la correlación C que se halla mediante el nivel de concentración máxima admisible de monóxido de carbono (35 ppm). Para este proyecto la correlación es:

$$C = 0.482 * 10^3 \frac{L}{m^2 * s^2}$$

El cálculo del caudal de aire requerido para ventilar cada estacionamiento debe incorporar un factor de seguridad de 2, el cual es esencial para garantizar que el sistema de ventilación funcione adecuadamente bajo diferentes condiciones. Este factor adicional se considera debido a que, en situaciones reales, pueden presentarse mezclas incompletas durante el proceso de dilución del monóxido de carbono en el aire, lo que podría ocasionar que los contaminantes no sean eliminados de manera uniforme. El factor de seguridad asegura que el caudal de aire calculado sea suficiente para manejar escenarios inesperados, como incrementos temporales en la concentración de monóxido de carbono debido a un mayor número de vehículos en movimiento, motores en ralentí por períodos prolongados o condiciones ambientales que dificulten la ventilación natural. De esta manera, se previenen riesgos para la salud de los usuarios y se mantiene la calidad del aire dentro de los límites aceptables. El método de ASHRAE, utilizado como base para este cálculo, proporciona directrices específicas para estimar el caudal necesario de extracción de aire. En la tabla 2.9, se presenta el caudal de diseño que debe ser considerado para la extracción de monóxido de carbono, tomando en cuenta tanto las tasas de emisión promedio de los vehículos como las características del espacio que se ventilará. Esta tabla es una referencia clave para los diseñadores del sistema, ya que permite ajustar las

capacidades del equipo de ventilación y garantizar que el aire contaminado sea expulsado de manera efectiva, manteniendo un ambiente seguro en los estacionamientos subterráneos.

Tabla 2.9 Resultados del caudal mínimo de diseño

	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3	Sótano 4-5
Correlación dependiente de Comáx	C	$l/(m^2*s^2)$	4.82E-04	4.82E-04	4.82E-04	4.82E-04
Tasa de generación de CO normalizada	f_g	-	11.88	18.14	17.56	17.34
Caudal mínimo por unidad de área	q	$l/(m^2*s)$	0.57	0.87	0.85	0.84
Caudal 3er método	Q3	1/s	1610.89	2998.04	2998.04	3266.52
Factor de seguridad	FS	-	2	2	2	2
Caudal 3er método	Q3	1/s	3221.77	5996.08	5996.08	6533.04
Caudal 3er método	Q3	CFM	6826.54	12704.97	12704.97	13842.73

Nota: Se muestra en la tabla los resultados del cálculo del caudal mínimo de diseño para cada sótano, utilizando el tercer método de estimación. Incluye valores como la correlación dependiente de la concentración máxima admisible (C), la tasa de generación de CO normalizada (f_g), y el caudal mínimo por unidad de área (q), con valores entre 0.57 y 0.85 $l/(m^2*s)$. También se aplicó un factor de seguridad (FS) de 2 para calcular el caudal total por sótano, que varía entre 6826.54 CFM en el sótano 1 y 13842.73 CFM en los sótanos 4 y 5.

En la tabla 2.10 se muestra los caudales obtenidos por los tres métodos. Se selecciona el mayor valor de caudal de extracción de monóxido por nivel para asegurar que el flujo de aire contaminado sea retirado por la montante de mampostería hacia el ambiente. Se selecciona los caudales del primer método.

Tabla 2.10. Resultados de caudales de los tres métodos

Descripción	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3	Sótano 4-5
Caudal 1er método	Q1	CFM	20703.22	14123.51	14593.2	16101.13
Caudal 2do método	Q2	CFM	9937.54	12105.87	12508.45	13800.97
Caudal 3er método	Q3	CFM	6826.54	12704.97	12704.97	13842.73

Nota: Se muestra en la tabla los resultados de los caudales de ventilación calculados utilizando tres métodos diferentes para cada sótano. Los valores están expresados en CFM (pies cúbicos por minuto). Por ejemplo, para el sótano 1, el caudal calculado por el primer método es de 20703.22 CFM, mientras que el segundo y tercer método arrojan 9937.54 CFM y 6826.54 CFM, respectivamente. En los sótanos 4 y 5, los valores son 16101.13 CFM (primer método), 13800.97 CFM (segundo método) y 13842.73 CFM (tercer método).

2.3. Caudal de ventilación de humos de incendio

Teniendo en cuenta la dimensión geométrica del estacionamiento y su uso, se ha considerado la posibilidad de que un vehículo pueda incendiarse en alguno de los sótanos, generando un calor de 4000 BTU/s y, como consecuencia, humo que podría dificultar el acceso de los bomberos. Para abordar una eventualidad de este tipo, se ha adoptado el criterio de manejo de humo ("Smoke Management"), que se utilizará para calcular el caudal de extracción de humo. Para este cálculo, se aplicarán las normas UNE 23585:2017 y BS 7346-7:2006. En la figura 2.2 se muestra el desarrollo del incendio en un estacionamiento y en la tabla 2.11 se muestra el diseño de estado estacionario de fuegos.



Figura 2.2 Control de humos

Tomado de "desarrollo del incendio y producción de humos", por (UNE 23585 2017:6)

Nota: En la figura 2.2 se muestra un esquema relacionado con el control de humos en estacionamientos subterráneos, ilustrando el desarrollo de un incendio. Este diseño considera un escenario en el que un vehículo genera calor a razón de 4000 BTU/s, produciendo humo que podría dificultar el acceso de los bomberos. Para abordar esta eventualidad, se aplica el criterio de manejo de humo ("Smoke Management") con base en las normas UNE-23585:2017 y BS-7346-7:2006, calculando el caudal de extracción necesario para mantener condiciones seguras. El diseño también especifica una altura mínima de evacuación de humo para facilitar la visibilidad y seguridad durante una emergencia.

Tabla 2.11 Diseño de estado estacionario de fuegos (*)

Parámetros de fuego	Aparcamiento interior sin sistema de rociadores	Aparcamiento interior con sistema de rociadores
Dimensiones	5 m x 5 m	2 m x 5 m
Perímetro	20 m	14 m
Tasa de liberación de calor	8 MW	4 MW

(*) Tomado de "incendio de autos", (BS 7346-7 2006:12)

Nota: Se muestra en la tabla el diseño de un estado estacionario de fuegos para aparcamientos interiores, comparando escenarios con y sin sistema de rociadores. En un estacionamiento sin rociadores, las dimensiones consideradas son de 5 m x 5 m, con un perímetro de 20 m y una tasa de liberación de calor de 8 MW. En cambio, en un estacionamiento con rociadores, las dimensiones se reducen a 2 m x 5 m, el perímetro es de 14 m y la tasa de liberación de calor disminuye a 4 MW.

2.3.1. Cálculo del caudal de ventilación de humos de incendio

En este proyecto se ha asumido que, en caso de incendio, el área afectada corresponderá aproximadamente al espacio de un puesto de estacionamiento, con dimensiones de 2 metros de ancho por 5 metros de largo. Para el cálculo, se considera la carga térmica asociada a un solo vehículo, basándose en la energía que este puede aportar a un incendio. Entonces se tiene los siguientes datos:

La altura del sótano (h_e): 2.8 m

Perímetro (P_e): 14 m

Heat Release Rate: 4 MW

Dimensiones: 2 x 5 m

Se halla la altura desde la base de fuego hasta la capa de humo (Y) en metros:

$$Y = 0.8 * h_e - 0.25 \quad (2.8)$$

$$Y = 0.8 * 2.8 - 0.25 = 1.99 \text{ m}$$

Se halla el flujo másico de humo (M_f) en kilogramos por segundo:

- Donde C_e : Espacio constante dependiente = 0.337 para aparcamiento cerrado

$$M_f = C_e * P_e * Y^2 \quad (2.9)$$

$$M_f = 0.337 * 14 * 1.99^2 = 13.24 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Se halla el calor convectivo (Q_c) en kilowatts:

$$Q_c = 0.66 * 4\text{MW} = 2640 \text{ kW}$$

Se halla la temperatura promedio de los humos (T_f) en grados Kelvin:

- Donde el calor específico a presión constante = $1.006 \frac{\text{Kj}}{\text{kgK}}$

$$T_f = \frac{Q_c}{C_p * M_f} \quad (2.10)$$

$$T_f = \frac{2640 \text{ kW}}{1.006 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * 13.24 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} = 198.20 \text{ }^\circ\text{C} = 471.20 \text{ K}$$

2.3.1.1. Volumen de humo por segundo de aire de extracción (V_f):

Se halla el volumen de humo de aire por segundo de extracción

- Donde ρ_o es la densidad del ambiente $1.2 \frac{kg}{m^3}$
- T_o es la temperatura ambiente (K)

$$V_f = \frac{(M_f * T_f)}{\rho_o * T_o} \quad (2.11)$$

$$V_f = \frac{\left(13.24 \frac{kg}{s} * 471.20 K\right)}{1.2 \frac{kg}{m^3} * 293 K} = 17.74 \frac{m^3}{s} = 37588 \text{ CFM}$$

Se tomará un caudal de extracción de humos de todos los sótanos de 37000 CFM o 62863.4 m³/h.

2.3.1.2. Número de renovaciones por hora (N):

Se trata de una medida utilizada para evaluar la frecuencia con la que se renueva el aire en un volumen específico durante un período de tiempo determinado.

$$N = \frac{V_f}{V} \quad (2.12)$$

2.3.1.3. Velocidad inducida (V_i)

Donde L_m es la distancia aproximada entre la inyección de aire y la zona de extracción

$$V_i = N * L_m \quad (2.13)$$

2.3.1.4. Resultados de cálculos para humos de incendios

Mediante cálculos se obtiene la tabla 2.12, la cual muestra los valores del número de renovaciones por hora y la velocidad inducida de los 5 sótanos del proyecto mediante las ecuaciones (2.12) y (2.13).

Tabla 2.12 Determinación del caudal de humos

Descripción	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3	Sótano 4-5
Volumen	V	m ³	7035.00	4800.00	4959.00	5471.00
Caudal de humos	V _f	m ³ /h	62863.40	62863.40	62863.40	62863.40
Número de renovaciones por hora	N	rev/h	9.00	13.00	13.00	11.00
Distancia entre equipo de inyección y extracción mecánica	Lm	m	250.00	185.00	185.00	240.00
Velocidad inducida	V _i	m/s	0.625	0.668	0.668	0.733

Nota: Se muestra en la tabla la determinación del caudal de humos para cada sótano, considerando aspectos como el volumen, el caudal necesario de humos, el número de renovaciones por hora, la distancia entre los equipos de inyección y extracción mecánica, y la velocidad inducida. Por ejemplo, en el sótano 1, con un volumen de 7035 m³, el caudal de humos requerido es de 62863.40 m³/h, con 9 renovaciones por hora, una distancia de 250 metros y una velocidad inducida de 0.625 m/s.

2.4. Sistema de ductos

Los sistemas de ductos tienen como objetivo transportar adecuadamente un cierto flujo de aire hacia un ambiente en específico de manera eficiente. Para el diseño de ductos se requiere el conocimiento de ciertos datos iniciales tales como caudal del aire, temperatura del aire, material del ducto, longitud del ducto y dimensión de un lado del ducto. Se debe tener en consideración los espacios disponibles para la instalación, las recomendaciones de velocidad y caída de presión estática por unidad de longitud del ducto. Además, se debe tener presente la velocidad de aire y caída de presión estática.

2.4.1. Fundamentos de diseño

2.4.1.1. Número de Reynolds

En un conducto, los fluidos pueden moverse de diferentes maneras, como flujo laminar o flujo turbulento. El tipo de flujo que circula depende de diversos factores, y el número de Reynolds es el parámetro clave para identificarlo. Este depende 4 variables y se presenta en la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{(\rho_f * v_a * D_d)}{\mu} \quad (2.14)$$

Donde:

Re: Número de Reynolds

ρ_f : densidad del fluido en $\frac{kg}{m^3}$

v_a : velocidad del aire en $\frac{m}{s}$

D_d : Diámetro del ducto en m

μ : Viscosidad dinámica del fluido en $kg(m * s)$

2.4.1.2. Ecuación de energía

La ecuación de Bernoulli es una aplicación del principio de conservación de la energía, fundamental en la física y en la dinámica de fluidos. Esta ecuación describe la relación entre la presión, la velocidad y la altura de un fluido incompresible que fluye por un conducto ideal, es decir, un conducto donde no se considera la fricción. Se establece entre dos puntos específicos del sistema y permite analizar cómo la energía total del fluido (compuesta por energía de presión, cinética y potencial) permanece constante a lo largo del flujo, siempre que no haya pérdidas debidas a resistencias o trabajo externo. Bajo estas condiciones ideales, la expresión resultante de esta ecuación proporciona una relación entre diversas propiedades del fluido, como la velocidad, la presión y la altura en esos puntos, lo cual es esencial para entender cómo la energía se transforma a lo largo de un flujo continuo, se cumple la siguiente expresión:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 + \rho g h_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2 + \rho g h_2 \quad (2.15)$$

Donde:

p: presión hidrostática en Pa

g: gravedad en $\frac{m^2}{s}$

h: altura del punto respecto a un plano de referencia en m

Considerando las pérdidas por fricción, la formula Bernoulli se muestra en la ecuación (2.16):

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 + \rho g z_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2 + \rho g z_2 + \Delta p_f \quad (2.16)$$

Donde:

Δp_f : pérdidas de fricción en Pa

En los sistemas de ventilación, el flujo de aire o cualquier otro fluido en movimiento experimenta diferentes formas de energía a medida que se desplaza a través de ductos o conductos. Una de estas formas es la energía potencial, que se relaciona con la posición del fluido dentro del sistema. Sin embargo, en la mayoría de los casos dentro de los sistemas de ventilación, esta energía potencial es mínima comparada con otras formas de energía, como la energía cinética (debido a la velocidad del fluido) y la energía de presión (debido a la compresión del fluido dentro de los ductos).

$$p_t = p_e + p_d \quad (2.17)$$

p_t : presión total en Pa

p_e : presión estática en Pa

p_d = presión dinámica en Pa

2.4.1.3. Resistencia al fluido

Las pérdidas en el sistema de conductos se refieren a la transformación irreversible de energía mecánica en calor. Estas pérdidas se dividen en dos tipos: las pérdidas por fricción y las pérdidas dinámicas.

2.4.1.3.1. Perdidas por fricción

Las pérdidas por fricción son un fenómeno que se genera debido a la viscosidad del fluido en movimiento dentro de un conducto. Estas pérdidas ocurren a lo largo de todo el trayecto del fluido, afectando su flujo y reduciendo la energía disponible en el sistema. Para calcular el valor de las pérdidas por fricción, se recurre comúnmente a la ecuación de Darcy, que permite estimar la caída de presión debida a la fricción en conductos circulares o no circulares. La ecuación de Darcy considera diversos factores como la velocidad del flujo, la rugosidad de las superficies del conducto y las características del fluido en cuestión, tales como su densidad y viscosidad. Se pueden calcular mediante la ecuación de Darcy:

$$\Delta p_f = 1000 * \frac{f * L_d}{D_h} * \frac{\rho v^2}{2} \quad (2.18)$$

Δp_f : caída de presión por fricción en Pa

f : factor de fricción

L_d : Longitud de ducto en m

D_h : Diámetro hidráulico en mm

Para flujo laminar (número de Reynold menor de 2300), el factor de fricción f es función únicamente del Número de Reynolds.

En el caso del flujo turbulento, el factor de fricción no solo depende de la viscosidad del fluido, sino también de una serie de factores adicionales. Entre estos factores se incluyen la rugosidad de la superficie interna del conducto, el número de Reynolds, que describe el régimen de flujo, y las protuberancias internas que pueden alterar el perfil del flujo. Para calcular este factor de fricción en condiciones de flujo turbulento, Colebrook propuso una ecuación que es ampliamente utilizada. Esta ecuación relaciona estos parámetros de manera que permite determinar con mayor precisión el factor de fricción en una variedad de condiciones de flujo, teniendo en cuenta la complejidad añadida que presenta el flujo turbulento:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3.7 * D_h} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right) \quad (2.19)$$

ϵ : Rugosidad absoluta del material del conducto en mm

Sin embargo, esta fórmula no es usada debido a su dificultad, por eso, se usa la aproximación de Swamee-Jain:

$$f = 0.25 * \left(\log \left(\frac{\epsilon}{3.7 * D_h} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right)^{-2} \quad (2.20)$$

Esta aproximación presenta una desviación con respecto a la ecuación general de Colebrook (2.19). Para poder hallar la verdadera caída de presión estática de los ductos de ventilación debemos multiplicar el factor de fricción por la desviación. Esta desviación depende del número de Reynolds y la aproximación a usar. Para el proyecto, se utilizará la aproximación Swamee-Jain.

A continuación, en la figura 2.3 se muestra la gráfica para hallar la desviación:

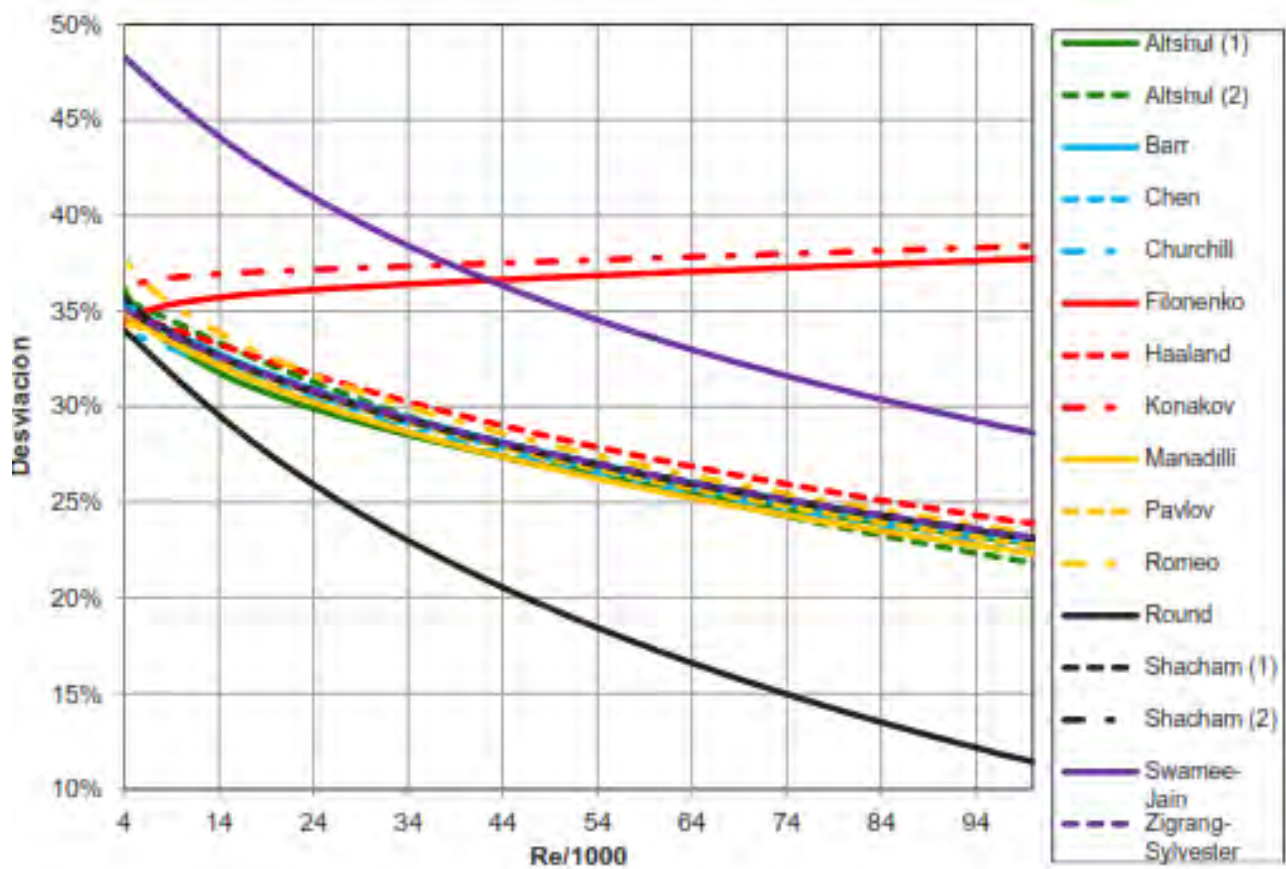


Figura 2.3 Desviaciones de las ecuaciones explícitas a inicios de régimen turbulento, tomado de “*evaluación de ecuaciones de factor de fricción explícito de ductos*”, (Anaya 2014:131)

Nota: En la figura 2.3 se presenta una gráfica que compara las desviaciones de varias ecuaciones explícitas utilizadas para calcular el factor de fricción en ductos a inicios del régimen turbulento. En el eje horizontal se muestra el número de Reynolds ($Re/1000$), mientras que en el eje vertical se representa la desviación porcentual. Cada curva corresponde a un modelo teórico diferente, como los de Altshul, Filonenko, Haaland, entre otros. Esta representación gráfica permite identificar las diferencias en precisión entre las ecuaciones, ayudando a seleccionar la más adecuada según el rango de Reynolds y las condiciones específicas del flujo.

La siguiente tabla presenta los factores de rugosidad absoluta para distintos materiales usados, construcción de conductos, tipo de junta según ASHRAE.

Tabla 2.13 Factores de rugosidad de conductos (*)

Factores de rugosidad de conducto		
Material del ducto	Rugosidad absoluta en ft	
	Rango	Categoría de rugosidad
Tubería estirada (Madison y Elliot 1946)	0.0000015	suave 0.0000015
Acero comercial o hierro forjado (Moody 1944)	0.00015	medio suave 0.00015
Tubo de plástico PVC (Swim 1982)	0.00003 a 0.00015	
Aluminio, redondo, costuras longitudinales, juntas deslizantes engarzadas, espaciado de 3 pies (Hutchinson 1953)	0.00012 a 0.0002	
Gráfico de fricción Acero galvanizado, costuras longitudinales, juntas variables (Vanstone, banda de tracción, soldadas, principalmente acoplamiento de cuerdas) (Griggs et al. 1987)	0.00016 a 0.00032	promedio 0.003
Acero galvanizado, costuras en espiral con 1, 2 y 3 nervaduras, acoplamientos rebordeados, espacio entre juntas de 12 pies (Griggs et al. 1987)	0.00029 a 0.00038	
Acero galvanizado, costuras en espiral, 10" espacio entre juntas (Jones 1979)	0.0002 a 0.0004	
espacio de 5 pies	0.00049 a 0.00128	
Espacio de 10 pies	0.00025 a 0.00098	

(*) Tomado de "factores de rugosidad", (ASHRAE 2021:21.7)

Nota: Se muestra en la tabla los factores de rugosidad para diferentes materiales de ductos, según su rugosidad absoluta medida en pies y la categoría de rugosidad. Por ejemplo, una tubería estirada tiene un valor de rugosidad de 0.0000015 ft, clasificándose como suave. Por otro lado, el acero galvanizado con costuras en espiral y juntas variables tiene valores que varían entre 0.00016 y 0.00032 ft, siendo considerado de rugosidad promedio. Los materiales como el tubo de plástico PVC presentan una rugosidad entre 0.00003 y 0.00015 ft, catalogado como medio suave.

Tabla 2.13 Factores de rugosidad de conductos (*) (continuación)

Factores de rugosidad de conducto		
Material del ducto	Rugosidad absoluta e, ft	
	Rango	Categoría de rugosidad
Acero galvanizado, rectangular, varios tipos de junta (Vanstone, tirante, soldada). Con reborde, espaciado de 4 pies (Griggs y Khodabakhsh- Sharifabad 1992) Conducto fenólico, lámina de aluminio en la cara interior, secciones conectadas con una brida de cuatro pernos y junta de abrazadera (Idem y Paruchuri 2018)	0.00027 a 0.0005	promedio 0.0003
Gráficos de fricción de Wright Acero galvanizado, redondo, costuras longitudinales, espaciado entre juntas de 2.5 pies, e= -0.0005 pies	Retenido con fines históricos (Ver Wright (1945) para el desarrollo del gráfico de fricción)	
Conducto de fibra de vidrio, rígido (provisional)	-	Medio rugoso 0.0003
Acero galvanizado, espiral, corrugado. Acoplamientos deslizantes, rebordeados, espaciamiento 10 pies (Kulkami et al. 2009)	0.0018 a 0.003	
Conducto flexible no metálico y de alambre, completamente extendido (Abushakra et al. 2004; Culp 2011)	0.0003 a 0.003	
Revestimiento de conducto de fibra de vidrio, lado de aire con material de revestimiento (Swim 1978)	0.005	
Revestimiento de ducto de vidrio fibroso, revestido con rociador del lado de aire (Swim 1978)	0.015	Áspero 0.001
Conducto flexible, corrugado metálico, totalmente extendido	0.004 a 0.007	
Concreto (Moody 1944)	0.001 a 0.01	

(*) Tomado de “factores de rugosidad”, (ASHRAE 2021:21.7)

Nota: Se muestra en la tabla una continuación de los factores de rugosidad para diversos materiales de ductos, con valores de rugosidad absoluta medidos en pies y clasificaciones según su categoría. Por ejemplo, el acero galvanizado rectangular con juntas soldadas presenta un rango de rugosidad entre 0.00027 y 0.0005 ft, clasificado como promedio. El conducto flexible no metálico y de alambre, completamente extendido, tiene valores entre 0.0003 y 0.003 ft, considerado medio rugoso, mientras que los revestimientos de fibra de vidrio, como el lado de aire con material de revestimiento, alcanzan valores de 0.005 ft. Materiales como el concreto tienen valores entre 0.001 y 0.01 ft, catalogados como ásperos.

2.4.1.3.2. Pérdidas dinámicas

Esto resulta de perturbaciones de flujos causados por equipos y accesorios en ductos que cambian de dirección. Este tipo de pérdida resulta de perturbaciones de flujos cuando hay un cambio de dirección del flujo de aire o hay cambio de sección causados por accesorios, arquitectura, etc. Esto se soluciona mediante el coeficiente adimensional C_o .

$$C_o = \frac{\Delta p_d}{p_d} \quad (2.21)$$

C_o : Coeficiente de pérdidas de presión

Δp_d : pérdidas dinámicas en Pa

Además, se sabe que:

$$p_d = \frac{\rho * v_a^2}{2}$$

v_a : Velocidad en la sección transversal de referencia

2.4.1.3.3. Ecuación de Darcy – Weisbach

Para obtener la caída de presión total en tramos de ductos que tengan tramos rectos y accesorios se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta p = \left(\frac{1000 * f * L_d}{D_h} + \sum C_o \right) * \left(\frac{\rho_f * v_a^2}{2} \right) \quad (2.22)$$

2.4.2. Caída de presión estática

La caída de presión estática se refiere a la pérdida de energía que ocurre debido a la fricción del fluido a lo largo del conducto, así como a los cambios en el recorrido del mismo. Estos cambios pueden incluir reducciones, codos, transformaciones de sección, rejillas, entre otros. La resistencia total de un sistema se calcula sumando las pérdidas de presión que se presentan a lo largo de las distintas secciones del sistema. Para obtener la caída de presión en su totalidad, se deben considerar los tramos que van desde la rejilla de ingreso de aire al sistema, hasta la rejilla de salida de aire o el sistema de expulsión, dependiendo de la configuración específica del sistema.

2.4.3. Procedimiento de diseño de ductos de HVAC

ASHRAE propone un método general de diseño de sistema de ductos HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado). Se debe considerar los siguientes puntos:

1. Estudiar los planos de arquitectura (01 al 05) para identificar y ubicar de manera óptima los puntos de suministro y extracción de aire, de modo que se logre una distribución eficiente en el espacio. Es esencial ajustar las cantidades de aire de suministro, retorno o escape para garantizar que se cumplan los requisitos de presurización dentro del recinto.
2. Seleccionar las rejillas de inyección de aire de acuerdo con las especificaciones proporcionadas por el fabricante, considerando el tipo de aire (suministro, retorno, escape) y las características particulares del sistema.
3. Realizar un diseño preliminar del sistema de ductos, conectando las salidas de aire correspondientes a las zonas de suministro y retorno. Se debe optar por el uso de ductos redondos en la medida de lo posible, ya que este tipo de ducto ofrece menores pérdidas de carga y es más eficiente, evitando en lo posible el uso de accesorios de acoplamiento cerrado que puedan generar obstrucciones.
4. Dividir el sistema de ductos en secciones, enumerando y detallando cada sección para un seguimiento y control adecuado del diseño y construcción.
5. Dimensionar los ductos utilizando el método más adecuado para el tipo de sistema, asegurando que el tamaño de los ductos sea el correcto para manejar el flujo de aire necesario sin generar pérdidas excesivas de presión.
6. Calcular la caída de presión del sistema, tomando en cuenta todos los factores que afectan el flujo de aire, como las características de los ductos, las rejillas y cualquier accesorio que forme parte del sistema de ventilación.

2.4.4. Velocidad del aire

La velocidad del aire tiene un impacto en el confort de las personas, tanto por el ruido generado durante su transporte a través de los ductos como por el flujo de aire directo sobre ellas. Para asegurar una distribución adecuada del aire, se implementará una rejilla de inyección por cada equipo. Por este motivo, se presenta la tabla 2.14, que recomienda las velocidades del aire de acuerdo con el ambiente analizado.

Tabla 2.14 Velocidades de aire en bocas de captación (*)

Atendiendo al ruido en bocas de captación. Ambiente:	Velocidad del aire (m/s)
Zonas públicas comerciales	
A niveles de ocupantes	3 a 4
Cerca de personas sentadas	2 a 3
Bocas en parte baja de puertas	3 a 3.5
Persianas en las paredes	2.5 a 5
Captaciones a nivel del techo	4 a más
Naves industriales	5 a 10
Sistemas de alta velocidad	2 a 4

(*) Tomado de “*velocidades de aire de acuerdo con el ruido en bocas*”, (Salvador Escoda 1998:68)

Nota: Se muestra en la tabla las velocidades recomendadas del aire en bocas de captación según el ambiente y las condiciones de ruido. En zonas públicas comerciales, las velocidades varían dependiendo de la ubicación. Por ejemplo, a nivel de ocupantes, la velocidad recomendada es de 3 a 4 m/s, mientras que cerca de personas sentadas se sugiere un rango más bajo, de 2 a 3 m/s. Para bocas en la parte baja de puertas, la velocidad es de 3 a 3.5 m/s, y en naves industriales puede alcanzar entre 5 y 10 m/s. Por otro lado, los sistemas de alta velocidad operan en un rango de 2 a 4 m/s.

En la tabla 2.15 se muestra las velocidades de aire en conductos de acuerdo con los caudales e instalaciones.

Tabla 2.15 Velocidades de aire en conductos (*)

Instalaciones	Velocidad del aire (m/s)	
	Principal	Secundario
Instalaciones Individualizadas		
Caudal máximo de 500 a 1000 m ³ /h	1 a 3	1
Caudal máximo de 1000 a 5000 m ³ /h	3 a 5	1 a 3
Caudal máximo de 5000 a 10000 m ³ /h	5 a 7	2 a 4
Instalaciones Centralizadas		
Residencias, salones, hoteles	3 a 5	1 a 3
Locales públicos, oficinas	5 a 7	1 a 3
Espacios industriales	5 a 10	2 a 5
Instalaciones Semicentralizadas		
Locales residenciales		
Conductos de baja velocidad	2 a 7	3 a 4
Conductos de velocidad media	5 a 10	3 a 5
Conductos de alta velocidad	10 a 20	5 a 10
Locales públicos		
Conductos de velocidad media	5 a 10	3 a 5
Conductos de alta velocidad	10 a 25	5 a 10

(*) Tomado de “*velocidades de aire de acuerdo con el ruido en bocas*”, (Salvador Escoda 1998:68)

Nota: Se muestra en la tabla las velocidades del aire recomendadas en conductos, dependiendo del tipo de instalación y el caudal. En instalaciones individualizadas, por ejemplo, para un caudal máximo de 500 a 1000 m³/h, la velocidad en el conducto principal es de 1 a 3 m/s y en el secundario es de 1 m/s. Para instalaciones centralizadas, en espacios industriales, las velocidades pueden llegar a 5 a 10 m/s en el principal y de 2 a 5 m/s en el secundario. En locales públicos con conductos de alta velocidad, se permiten rangos de 10 a 25 m/s en el principal y de 5 a 10 m/s en el secundario.

2.4.5. Diseño de rejillas

Para este proyecto se diseñará rejillas de inyección para los inyectores que se instalarán en cada sótano. Según ASHRAE, se recomienda que las rejillas y difusores tengan una velocidad en un rango de 300 a 400 fpm (foot per minute) para que este no exceda el límite de decibeles y la velocidad del aire para las personas. Con lo anteriormente dicho, se tomó una velocidad de 400 fpm para las rejillas de inyección. Es importante conocer qué tipo de rejilla de inyección se equipará en el proyecto. Para dimensionar la rejilla se necesita definir la velocidad de aire de la rejilla para calcular el área efectiva del flujo mediante las siguientes fórmulas:

$$Q_{rej} = V_{rej} * A_{rej} * 1000 \quad (2.23)$$

Donde:

A_{rej} : Área efectiva de difusor en m²

Q_{rej} : Caudal del difusor o rejilla en m³/s

En la tabla 2.16 se muestra los resultados de los caudales de inyección por rejilla, velocidad de inyección y área efectiva.

Tabla 2.16 Selección de rejillas de inyección

	Símbolo	unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3	Sótano 4	Sótano 5
Caudal de inyección por rejilla	Q_{rej}	m ³ /s	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
Velocidad de inyección rejilla	V_{rej}	m/s	2	2	2	2	2
Área efectiva calculada	A_{rej}	m ²	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36
Área efectiva calculada	A_{rej}	in ²	3658	3658	3658	3658	3658

Nota: Se muestra en la tabla la selección de rejillas de inyección para cada sótano, considerando parámetros como el caudal de inyección por rejilla, la velocidad de inyección y el área efectiva calculada. En todos los sótanos, el caudal de inyección es de 4.72 m³/s, con una velocidad de 2 m/s, lo que resulta en un área efectiva de 2.36 m² o 3658 in².

Se obtiene los valores de área efectiva mediante la ecuación (2.23). A continuación, se muestra en la tabla 2.17 la cantidad y dimensiones de rejillas de inyección por sótano.

Tabla 2.17 Cantidad y dimensiones de rejillas por nivel

Nivel	Rejillas de inyección	Cantidad
Sótano 1	40"x40"	1
Sótano 1	96"x32"	1
Sótano 2	80"x38"	3
Sótano 3	80"x38"	3
Sótano 4	80"x38"	3
Sótano 5	80"x38"	1

Nota: Se muestra en la tabla la cantidad y dimensiones de las rejillas de inyección asignadas a cada nivel del estacionamiento. Por ejemplo, el sótano 1 cuenta con dos rejillas, una de 40"x40" y otra de 96"x32". Los sótanos 2, 3 y 4 tienen tres rejillas cada uno, con dimensiones de 80"x38". Finalmente, el sótano 5 utiliza una rejilla de 80"x38".

2.4.6. Dimensionamiento de ductos

2.4.6.1. Método de dimensionamiento

2.4.6.1.1. Método de fricción equivalente

El método de igual fricción es el más comúnmente utilizado para dimensionar ductos de baja presión. En este método, los conductos se dimensionan para mantener una pérdida de presión constante por unidad de longitud.

La premisa de este método es seleccionar un valor para la pérdida de presión por fricción por longitud de ducto y mantenerlo constante a lo largo de todas las secciones del sistema. Este valor se elige generalmente en función de la velocidad máxima permisible en el conducto principal que sale del ventilador, con el objetivo de evitar niveles de ruido excesivos. Una vez seleccionada la velocidad máxima en el conducto principal, se determina el caudal de aire, y se consulta la tabla de pérdidas de fricción del anexo A.7 para obtener la caída de presión. El procedimiento puede resumirse de la siguiente manera:

Calcular el caudal necesario de volumen de aire en todas las habitaciones y la rama del sistema

1. A partir del caudal obtenido, se debe calcular el volumen total de aire que circula por el sistema principal. Este cálculo es esencial para asegurar que el sistema de ventilación pueda manejar de manera efectiva el flujo de aire requerido en cada sección del edificio o espacio.
2. Determinar la velocidad máxima de flujo de aire aceptable en el conducto principal, asegurando que no se superen los límites recomendados que podrían generar ruidos o pérdidas de eficiencia en el sistema.

3. Determinar la caída de presión significativa en el conducto principal, lo cual es clave para evaluar la eficiencia del sistema y garantizar que el flujo de aire se mantenga adecuado a lo largo de todo el recorrido del aire.
4. Utilizar la caída de presión importante del conducto principal como una constante para el diseño y cálculo de las demás secciones del sistema, garantizando que la distribución del aire sea óptima en todo el sistema de ductos.
5. Determinar la resistencia total en el sistema de conductos, multiplicando la resistencia de cada tramo de ducto por la longitud equivalente del sistema, con especial atención a la pista más larga, ya que esta puede representar el mayor desafío en términos de pérdidas de presión.

Para calcular la sección rectangular de los conductos se empleará la ecuación de Huebscher (1948), la cual desarrolla la relación entre ductos circulares y rectangulares para determinar la equivalencia de tamaño en función a la igualdad de flujo, resistencia y longitud.

$$De = \frac{1.3*(a*b)^{0.625}}{(a+b)^{0.250}} \quad (2.24)$$

Donde:

De = Diámetro circular equivalente al conducto rectangular en mm

a = Longitud de un lado del conducto en mm

b = Longitud del lado adyacente del conducto en mm

2.4.6.1.2. Método de recuperación estática

El método de recuperación estática tiene como objetivo principal garantizar una presión estática constante en los puntos críticos de un sistema de ventilación, como las uniones y ramificaciones donde el flujo de aire se divide. Este enfoque permite ajustar los tamaños de los ductos a lo largo del sistema, de manera que las pérdidas de presión por fricción en cada tramo sean compensadas con un aumento de presión estática en los puntos de bifurcación. De esta forma, se asegura que el aire fluya de manera uniforme y eficiente a lo largo del sistema, manteniendo la presión necesaria para que todas las áreas reciban el flujo de aire requerido.

El diseño basado en este método se fundamenta en la necesidad de dimensionar cada tramo del ducto con precisión. Cada sección del sistema debe garantizar que la presión estática disponible sea suficiente para superar las pérdidas causadas por la fricción entre el aire en movimiento y las paredes internas del conducto. Esto es particularmente importante en sistemas de ventilación

extensos o complejos, donde una caída de presión en un punto crítico podría comprometer el funcionamiento del sistema en su totalidad.

Para aplicar este método, se selecciona una velocidad inicial en la descarga del ventilador, la cual servirá como referencia para dimensionar la primera sección del ducto. Este primer tramo se diseña utilizando el método de pérdida de carga constante, que asegura un flujo controlado sin caídas significativas de presión. A partir de este punto, las secciones subsecuentes se calculan utilizando herramientas como tablas y gráficos que relacionan la longitud del ducto con el caudal de aire a mover. Estas herramientas son esenciales para garantizar que el diseño del sistema mantenga la presión estática uniforme en todas las ramificaciones.

En algunos casos, especialmente cuando las velocidades del aire son bajas, se pueden emplear tablas de recuperación estática para ajustar el diseño. Estas tablas facilitan la compensación de las pérdidas de presión y son útiles para garantizar un funcionamiento eficiente en sistemas con condiciones particulares, como bajas velocidades o configuraciones complejas.

Este método ofrece múltiples beneficios, entre ellos una mayor eficiencia energética, ya que al mantener una presión estática constante se reduce la carga sobre el ventilador, optimizando el consumo de energía. También asegura una distribución uniforme del aire, lo que es esencial en sistemas de ventilación que abarcan grandes áreas o múltiples espacios. Además, su flexibilidad en el diseño permite adaptarse a una amplia gama de aplicaciones, desde edificios residenciales hasta instalaciones industriales.

Es importante considerar las características del ventilador, los materiales del ducto y las condiciones específicas del flujo de aire durante el diseño del sistema. Estos factores afectan directamente la efectividad del método de recuperación estática y deben ser cuidadosamente evaluados para garantizar un desempeño óptimo. Este enfoque, aunque técnico, resulta indispensable para lograr un sistema de ventilación equilibrado, eficiente y funcional.

2.4.6.2. Cálculo de dimensionamiento de ductos

El método que se usará para dimensionar los ductos de este proyecto es el método de fricción equivalente. El aire expulsado será conducido hacia el exterior realizando la descarga a una altura de 3 m por encima del nivel del techo, estas alturas están conformes a lo establecido por el Reglamento Nacional de Edificaciones. La altura común de los sótanos del proyecto es de 2.8 metros y los ductos no puede superar una dimensión de 0.7 m de altura. Por esta restricción, se

diseñarán ductos rectangulares debido a que los ductos no puedan tener sección circular en los tramos. Estos ductos deben tener una relación máxima recomendable de 1:6 (altura vs ancho).

En este proyecto se utilizará como material plancha galvanizada para los ductos de inyección de aire. Para extracción de humos se usó, según la norma EM.030, plancha de acero negro y la unión de estos es por brida y/o soldados. En la tabla 2.9, se muestra que las rugosidades de los materiales. Debido a que se utilizará una caída de presión estática constante, en el anexo A.7 se presenta las gráficas de pérdidas de fricción para una densidad de aire de 1.2 kg/m^3 y una rugosidad absoluta de 0.09 milímetros.

Para los inyectores de aire, se tiene un caudal de 4720 l/s y una velocidad recomendada de 8 m/s. Con estos datos y la tabla de pérdidas de presión por fricción del anexo A.7 se obtiene una caída de presión de 0.7 Pa/m. En la tabla 2.18 se tiene las siguientes condiciones y restricciones para el dimensionamiento de ductos del proyecto.

Tabla 2.18 Parámetros de dimensionamiento de ductos

Parámetros	Unidades	Valor
Temperatura del aire	°C	20
Presión de aire	kPa	100
Viscosidad cinemática	m^2/s	1.52E-05
Rugosidad absoluta plancha galvanizada	mm	0.09
Caída de presión por metro de ducto	Pa/m	0.7
Velocidad máxima en ducto principal	m/s	15
Altura máxima de ducto	m	0.7
Material del ducto	-	Acero galvanizado y acero negro
Viscosidad absoluta del aire	$\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$	1.82E-05
Rugosidad absoluta acero negro	mm	0.04572

Nota: Se muestra en la tabla los parámetros utilizados para el dimensionamiento de ductos en el sistema de ventilación. Entre ellos, la temperatura del aire se establece en 20 °C, la presión de aire en 100 kPa y la viscosidad cinemática en $1.52\text{E-}05 \text{ m}^2/\text{s}$. La rugosidad absoluta para planchas galvanizadas se especifica en 0.09 mm, mientras que para acero negro es de 0.04572 mm. Además, la caída de presión por metro de ducto es de 0.7 Pa/m, con una velocidad máxima permitida en el ducto principal de 15 m/s y una altura máxima de 0.7 m.

Con las condiciones y restricciones de la tabla 2.18, se presenta la tabla de resultados 2.19 de los ductos de inyección para los 5 sótanos del proyecto mediante las ecuaciones (2.14) y (2.20).

Tabla 2.19 Dimensionamiento de ductos

Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Área (m ²)	Diámetro circular equivalente (mm)	Número de Reynolds	Factor de fricción	Caída de presión (Pa/m)
sótano 1						
4720	8.5	0.555	840.846	4.72E+05	0.0164	0.846
sótano 2						
4720	8.5	0.555	840.846	4.71E+05	0.0164	0.846
4720	8.5	0.555	840.846	4.71E+05	0.0164	0.846
4720	8.5	0.555	840.846	4.71E+05	0.0164	0.846
sótano 3						
4720	8.5	0.555	840.846	4.71E+05	0.0164	0.846
4720	8.5	0.555	840.846	4.71E+05	0.0164	0.846
4720	8.5	0.555	840.846	4.71E+05	0.0164	0.846
sótano 4						
4720	8.5	0.555	840.846	4.71E+05	0.0164	0.846
4720	8.5	0.555	840.846	4.71E+05	0.0164	0.846
4720	8.5	0.555	840.846	4.71E+05	0.0164	0.846
sótano 5						
4720	8.5	0.555	840.846	4.71E+05	0.0164	0.846
Techo						
17462.1	10.5	1.663	1455.153	1.01E+06	0.0138	0.627
17462.1	10.5	1.663	1455.153	1.01E+06	0.0138	0.627
34924.1	10.5	3.326	2057.894	1.42E+06	0.0130	0.417

Nota: Se muestra en la tabla el dimensionamiento de ductos para cada nivel del estacionamiento, incluyendo valores como el caudal de aire, la velocidad, el área, el diámetro circular equivalente, el número de Reynolds, el factor de fricción y la caída de presión por metro de ducto. Por ejemplo, en los sótanos del 1 al 5, el caudal es de 4720 l/s, con una velocidad de 8.5 m/s y un área de 0.555 m², resultando en un diámetro circular equivalente de 840.846 mm y una caída de presión de 0.846 Pa/m. En el techo, los caudales son mayores, alcanzando 34924.1 l/s, con una velocidad de 10.5 m/s y una caída de presión reducida de 0.417 Pa/m.

El diámetro de la tabla anterior es el diámetro para un ducto circular. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, los ductos serán rectangulares. El lado del ducto desconocido se halla mediante la ecuación (2.24). Por eso se presenta la siguiente tabla 2.20.

Tabla 2.20 Conversión de ductor circular a rectangular

Caudal (l/s)	Diámetro equivalente (mm)	Ancho (in)	Altura (in)	Relación altura-ancho
sótano 1				
4720	840.846	40	26	1.54:1
sótano 2				
4720	840.846	64	16	4:1
4720	840.846	64	16	4:1
4720	840.846	64	16	4:1
sótano 3				
4720	840.846	64	16	4:1
4720	840.846	64	16	4:1
4720	840.846	64	16	4:1
sótano 4				
4720	840.846	64	16	4:1
4720	840.846	64	16	4:1
4720	840.846	64	16	4:1
sótano 5				
4720	840.846	64	16	4:1
Techo				
17462.1	1455.153	52	52	1
17462.1	1455.153	52	52	1
34924.1	2057.894	74	74	1

Nota: Se muestra en la tabla la conversión de ductos circulares a rectangulares para los diferentes niveles del estacionamiento, detallando el caudal, diámetro equivalente, dimensiones del ducto rectangular (ancho y altura en pulgadas) y la relación altura-ancho. Por ejemplo, en el sótano 1, el ducto rectangular tiene dimensiones de 40"x26" con una relación altura-ancho de 1.54:1. En los sótanos 2, 3, 4 y 5, los ductos rectangulares tienen dimensiones uniformes de 64"x16" con una relación de 4:1. En el techo, los ductos tienen dimensiones variables, como 74"x74" con una relación de 1:1.

A continuación, se presenta el esquema de los ductos del piso 9 (techo). Los ductos de los demás niveles se presentarán junto a los jets fan en las figuras 2.7, 2.8 y 2.9 respectivamente.

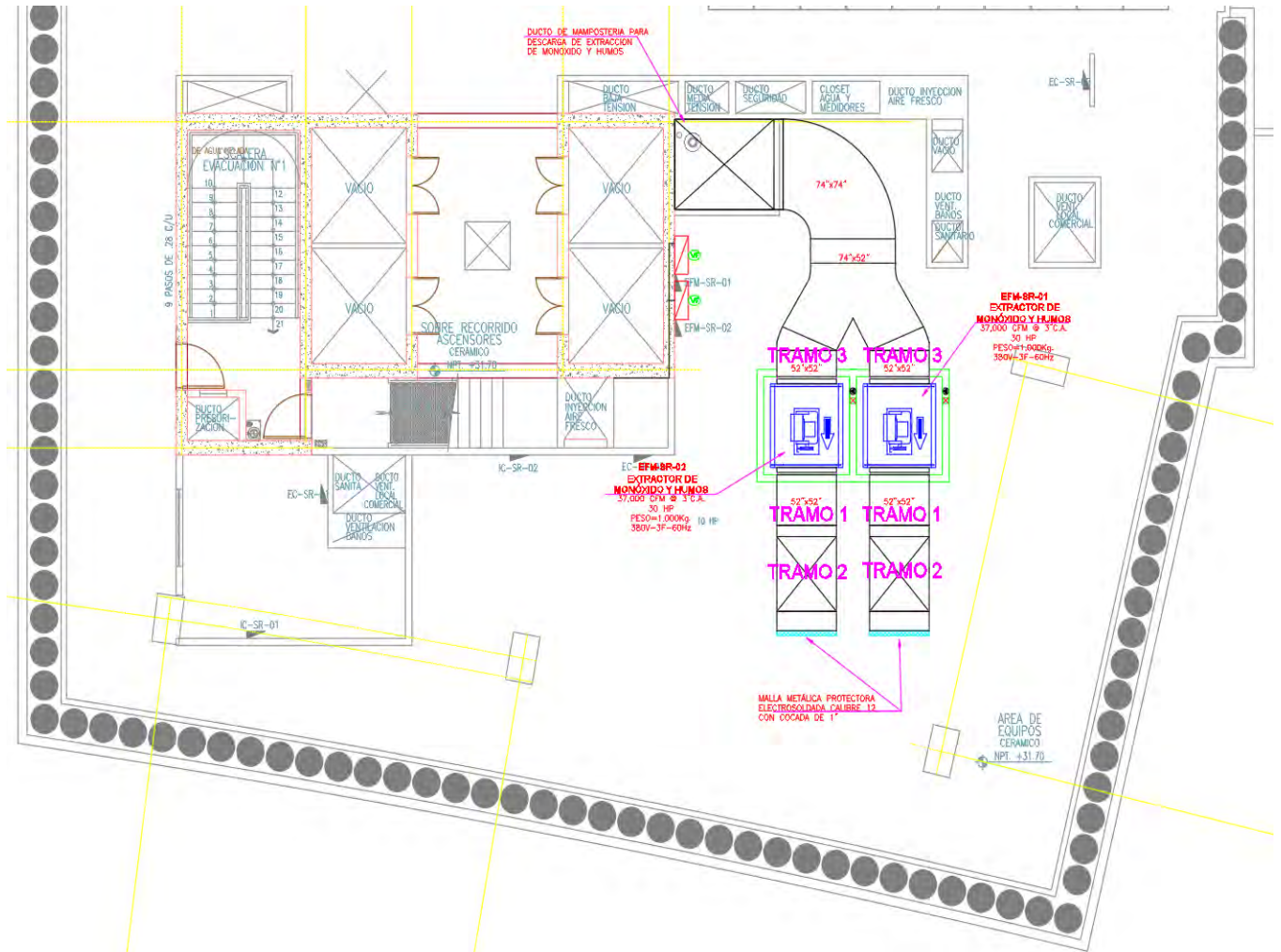


Figura 2.4 Esquema de ductos nivel piso 9 (techo)

Nota: En la figura 2.4 se presenta un esquema detallado de los ductos del nivel piso 9 (techo). En el diseño se pueden observar los trazados de los ductos principales y secundarios, indicando las conexiones y ubicaciones estratégicas de los equipos de ventilación. Los tramos están identificados y etiquetados para facilitar su análisis y mantenimiento. Este plano es esencial para comprender la distribución del sistema de ventilación en este nivel y cómo interactúa con otros sistemas y estructuras del edificio.

2.4.6.3. Cálculos de las pérdidas de fricción

Para determinar la caída de presión en cada sección (pérdidas primarias), es fundamental conocer la longitud de todos los tramos rectos entre cada punto entrada y la salida del sistema. La tabla 2.21 presenta los valores de pérdida de fricción primarias.

Tabla 2.21 Cálculo de pérdidas por fricción

		DUCTO (in)	L(m)	Caída de presión (Pa/m)	Pérdidas de fricción (Pa)
SÓTANO 1	TRAMO 1	40x26	3	0.846	2.537
	TRAMO 1	40x26	2.6	0.846	2.199
SÓTANO 2	TRAMO 1	64X16	2	0.846	1.691
	TRAMO 2	64X16	3	0.846	2.537
	TRAMO 3	64X16	2.5	0.846	2.114
SÓTANO 3	TRAMO 1	64X16	2	0.846	1.691
	TRAMO 2	64X16	3	0.846	2.537
	TRAMO 3	64X16	2.5	0.846	2.114
SÓTANO 4	TRAMO 1	64X16	2	0.846	1.691
	TRAMO 2	64X16	3	0.846	2.537
	TRAMO 3	64X16	2.5	0.846	2.114
SÓTANO 5	TRAMO 1	64X16	2.5	0.846	2.114
TECHO	TRAMO 1	52x52	1.04	0.627	0.652
	TRAMO 2	52x52	0.64	0.627	0.401
	TRAMO 3	52x52	0.54	0.627	0.339
	TRAMO 1	52x52	1.04	0.627	0.652
	TRAMO 2	52x52	0.64	0.627	0.401
	TRAMO 3	52X52	0.54	0.627	0.339

Nota: Se muestra en la tabla el cálculo de las pérdidas por fricción en los ductos para los diferentes niveles del estacionamiento. Se detallan las dimensiones del ducto, la longitud del tramo, la caída de presión por metro y las pérdidas totales de fricción. Por ejemplo, en el sótano 1, para un ducto de 40"x26" y una longitud de 3 metros, la caída de presión es de 0.846 Pa/m, resultando en una pérdida de fricción total de 2.537 Pa. En el techo, los ductos de 52"x52" tienen una caída de presión menor de 0.627 Pa/m, con pérdidas totales de fricción que varían entre 0.339 y 0.652 Pa dependiendo de la longitud del tramo.

2.4.6.4. Cálculos de pérdidas dinámicas

Para calcular las pérdidas dinámicas o pérdidas secundarias en un sistema de ventilación, es fundamental identificar todos los accesorios presentes en cada nivel del sistema, como los instalados en los sótanos del estacionamiento del proyecto. Cada accesorio, como codos, pantalones y reducciones, introduce una resistencia adicional al flujo de aire, lo que genera pérdidas de presión que deben ser consideradas en el diseño para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. Es necesario determinar los coeficientes de pérdida C_o de cada accesorio, ya que estos valores representan la resistencia específica que cada elemento

introduce al flujo. Estos coeficientes, junto con las condiciones del flujo, permiten calcular la caída de presión asociada a cada accesorio. Dichos cálculos son esenciales para prever cómo las pérdidas dinámicas afectarán el sistema en su conjunto, permitiendo ajustar el diseño para mantener una distribución de aire adecuada y eficiente.

En este caso particular, la evaluación de los accesorios se realizará siguiendo las directrices establecidas por ASHRAE, que proporciona estándares y metodologías específicas para este tipo de análisis. Además, en el anexo A.08 del proyecto, se incluye una evaluación detallada de cada uno de los accesorios utilizados, incluyendo sus características y los coeficientes de pérdida correspondientes. Esta información permite realizar un análisis exhaustivo de las pérdidas dinámicas, asegurando que todos los aspectos del sistema sean considerados en el diseño final.

2.4.6.5. Cálculo de pérdidas totales

Una vez calculadas las pérdidas de fricción, que corresponden a la resistencia del aire al desplazarse a través de los conductos, y las pérdidas dinámicas, que se generan por los accesorios y cambios de dirección del flujo, se puede determinar el total de pérdidas en el sistema. Este cálculo es esencial para cada tramo y nivel del sótano del proyecto, ya que proporciona una visión completa de cómo se comporta el flujo de aire en todo el sistema.

Las pérdidas totales representan la suma de todas las resistencias presentes y son clave para diseñar un sistema de ventilación eficiente. La caída de presión del sistema se establece como el valor máximo obtenido entre todos los tramos analizados. Este enfoque garantiza que el sistema esté dimensionado para superar la mayor resistencia identificada, lo que asegura que el flujo de aire llegue adecuadamente a todas las zonas del estacionamiento.

Los resultados de este análisis se resumen en la tabla 2.22, donde se detalla el comportamiento de las pérdidas en cada nivel y tramo. Este procedimiento es crucial para ajustar tanto el diseño de los ventiladores como el dimensionamiento de los conductos, asegurando que el sistema opere dentro de los parámetros requeridos y cumpla con los estándares de calidad y seguridad establecidos.

Tabla 2.22 Cálculo de las pérdidas totales

Pisos	TRAMO	CAÍDAS DE PRESIÓN		
		$\Delta p_e (Pa)$	$\Delta p_d (Pa)$	$\Delta p (Pa)$
Sótano 1	1	4.736	69.068	73.804
Sótano 2	1	1.691	46.990	48.681
	2	2.537	47.427	49.964
	3	2.114	47.427	49.541
Sótano 3	1	1.691	46.990	48.681
	2	2.537	47.427	49.964
	3	2.114	47.427	49.541
Sótano 4	1	1.691	46.990	48.681
	2	2.537	47.427	49.964
	3	2.114	47.427	49.541
Sótano 5	1	2.114	46.990	49.104
Techo	1	1.392	273.208	274.600
	2	1.392	273.208	274.600

Nota: Se muestra en la tabla el cálculo de las pérdidas totales de presión en los diferentes niveles del estacionamiento. Cada nivel incluye tramos específicos, para los cuales se desglosan las caídas de presión correspondientes a las entradas, las salidas y las pérdidas totales. Por ejemplo, en el sótano 1, el tramo 1 tiene una caída de presión de entrada de 4.736 Pa, una caída de salida de 69.068 Pa, resultando en una pérdida total de 73.804 Pa. En el techo, los tramos presentan valores más uniformes, con una caída total de presión de 274.690 Pa.

Sin embargo, para los extractores de monóxido de carbono e incendios se tiene la caída de presión en los ductos de mampostería de concreto. Por eso se considera que estos equipos tendrán una caída de presión de 747 Pascales.

2.4.6.6. Espesor de los ductos

Una vez calculado las dimensiones de los ductos, se procede a calcular el espesor que tienen estos. Como se mencionó anteriormente, los ductos son de material acero galvanizado para los inyectores y para los extractores, por norma, tiene que ser de fierro negro. En la tabla 2.23 CARRIER nos recomienda el espesor de las planchas según las dimensiones del ducto.

Tabla 2.23 Espesor de planchas recomendadas (*)

Dimensión mayor del conducto (cm)	Espesor de la chapa (mm)				Construcción recomendada (Juntas transversales, refuerzos)
	Acero		Aluminio		
	Conducto	Grapa	Conducto	Grapa	
Hasta 60	0.6	0.6	0.6	0.6	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 forzada o escuadra reforzada separado 1.2 m o menos. Refuerzo de perfil angular en diagonal de 40x40x4 mm o zuncho angular de las mismas dimensiones situada a mitad de distancia entre juntas.
de 180 a 225	1	1	1	1.5	Grapa deslizante forzada o escuadra reforzada separado 1.2 m o menos. Refuerzo de perfil angular en diagonal de 40x40x4 mm o zuncho angular de las mismas dimensiones situada a mitad de distancia entre juntas. Tirante de hierro de 30x3 mm para anchura de ducto de 180 a 225 cm.
225 a más	1.5	1	1.5	1.5	Grapa deslizante forzada o escuadra reforzada separado 1.2 m o menos. Refuerzo de perfil angular en diagonal de 40x40x4 mm o zuncho angular de las mismas dimensiones situada a mitad de distancia entre juntas. Tirante de hierro de 30x3 mm para anchura de ducto de 225 a 300 cm. Tirante de hierro de 30x3 mm separado 120 cm para anchura de ducto de 300 cm a más.

(*) Tomado de "espesores de plancha de acuerdo con la longitud del ducto", (Carrier 1998:2-65)

Nota: Se muestra en la tabla los espesores de planchas recomendados para ductos, basados en su dimensión mayor, junto con los refuerzos y juntas necesarias para la construcción. Por ejemplo, para ductos de hasta 60 cm de dimensión mayor, el espesor de la chapa es de 0.6 mm tanto para acero como para aluminio, y se utiliza una grapa deslizante o grapa en S, separada a 2.5 m o menos. Para dimensiones mayores de 225 cm, el espesor aumenta a 1.5 mm para ambos materiales y se requieren refuerzos adicionales, como tirantes de hierro de 30x3 mm, separados a 120 cm.

En la tabla 2.24 se selecciona el espesor y la unión de las diferentes dimensiones de los ductos para que se tiene en el proyecto.

Tabla 2.24 Cálculo del espesor y tipo de unión de los ductos

Ancho (in)	Altura (in)	Espesor de chapa (mm)	Grapa (mm)	Tipo de unión
40	26	0.8	0.8	Corredera deslizante
64	16	1	1	Escuadra reforzada
52	52	1.5	1.5	Brida y/o soldado
74	74	1.5	1.5	Brida y/o soldado

Nota: Se muestra en la tabla el cálculo del espesor de chapa y el tipo de unión recomendado para ductos según sus dimensiones. Por ejemplo, un ducto de 40"x26" requiere un espesor de chapa de 0.8 mm, con una grapa del mismo espesor y una unión mediante corredera deslizante. Para ductos de mayor tamaño, como los de 74"x74", el espesor de chapa y grapa aumenta a 1.5 mm, con un tipo de unión más robusto mediante bridas y/o soldadura.

2.4.6.7. Soporte de ductería

El sistema de soporte para los ductos de plancha galvanizada contará con elementos cuyas dimensiones permitirán soportar adecuadamente tanto el peso del conducto como el del propio sistema, sin deformarse. Estos soportes estarán distribuidos de manera que garanticen la estabilidad. El sistema de soporte de los ductos suspendidos del techo está compuesto por las siguientes partes:

- Anclaje al elemento estructural del edificio
- Los tirantes
- La fijación del conducto al soporte

Según SMACNA se presenta la tabla 2.25 en donde: "se dan las distancias máximas entre soporte contiguos y la sección de varillas o pletinas, en función del semiperímetro del conducto rectangular".

Tabla 2.25 Distancia máxima entre soportes (*)

Máximo semiperímetro de ducto	Distancia de 10 pies		Distancia de 8 pies		Distancia de 5 pies		Distancia de 4 pies	
	Soporte	Varilla	Soporte	Varilla	Soporte	Varilla	Soporte	Varilla
P/2=30"	1"x22ga	0.135"	1"x22ga	0.135"	1"x22ga	0.106"	1"x22ga	0.106"
P/2=72"	1"x18ga	3/8"	1"x20ga	1/4"	1"x22ga	1/4"	1"x22ga	1/4"
P/2=96"	1"x16ga	1/2"	1"x18ga	3/8"	1"x20ga	3/8"	1"x22ga	1/4"
P/2=120"	1 1/2"x16ga	1/2"	1"x16ga	3/8"	1"x18ga	3/8"	1"x20ga	1/4"
P/2=168"	1 1/2"x16ga	1/2"	1 1/2"x16ga	1/2"	1"x16ga	3/8"	1"x18ga	3/8"
P/2=192"	No dado	1/2"	1 1/2"x16ga	1/2"	1"x16ga	3/8"	1"x16ga	3/8"
P/2=193" up	Análisis especial requerido							

(*) Tomado de "dimensión de varillas de acuerdo con la distancia entre soportes", (Smacna 1998:4.6)

Nota: Se muestra en la tabla la distancia máxima permitida entre soportes para ductos, según el semiperímetro máximo del ducto y el tipo de soporte y varilla utilizados. Por ejemplo, para un ducto con un semiperímetro de 30", se permite una distancia de hasta 10 pies entre soportes, utilizando un soporte de 1"x22ga y una varilla de 0.135". Para ductos con mayores dimensiones, como un semiperímetro de 168", se requiere un soporte más robusto de 1 1/2"x16ga y una varilla de 1/2", con una distancia máxima de 10 pies.

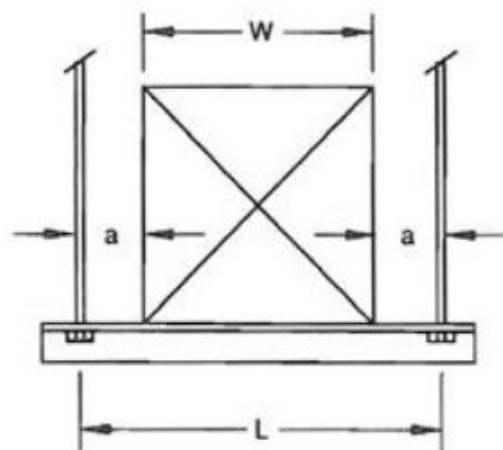


Figura 2.5 Colgadores tipo trapecio

Tomado de "Tipos de soporterías para conductos", (Smacna 1998:4.12)

Nota: En la figura 2.5 se muestra un esquema de colgadores tipo trapecio, utilizados para soportar ductos en sistemas de ventilación. Este tipo de soporte es diseñado considerando el semiperímetro máximo del ducto y los materiales del soporte y varillas. Por ejemplo, para un ducto con un semiperímetro de 30", se puede utilizar un soporte de 1"x22ga con varillas de 0.135", permitiendo una distancia máxima de 10 pies entre soportes. En el caso de ductos más grandes, como aquellos con un semiperímetro de 168", se requiere un soporte más robusto, como uno de 1-1/2"x16ga con varillas de 1/2", manteniendo la misma distancia máxima de 10 pies.

Se seleccionarán las varillas para el ducto de mayor dimensión que se instalará en el techo del estacionamiento. Según las tablas (2.25) se escoge una varilla roscada de diámetro de 8 mm (3/8") que resiste 308.44 kgf (680 libras). Para verificar que los soportes no fallen, se calculará el peso del ducto más grande en el estacionamiento. De acuerdo con los ductos del proyecto de mayores dimensiones (64"x16") se tiene un semiperímetro de 2.032 m y un distanciamiento de 1.5 m. Se calcula el peso de los ductos del proyecto para una longitud de 1.5 metros, el cual será la distancia entre cada soporte:

Tabla 2.26 Peso de los ductos del proyecto

ancho (in)	altura (in)	Distancia (m)	peso (kg)
64	16	1.5	57.88
40	26	1.5	39.36

Nota: Se muestra en la tabla el peso de los ductos del proyecto, especificando sus dimensiones (ancho y altura), la distancia evaluada y el peso correspondiente. Por ejemplo, un ducto de 64"x16" con una distancia de 1.5 m tiene un peso de 57.88 kg, mientras que un ducto de 40"x26" con la misma distancia tiene un peso de 39.36 kg.

Para el distanciamiento de 1.5 m del ducto se va a considerar 2 refuerzos, para los cuales se consideró el uso de ángulos de acero A36 como soporte horizontal. Este tendrá una longitud aproximadamente igual a la distancia entre las varillas roscadas, el cual es 1.7 metros. Además, para el cálculo se consideró un ángulo de 11/2"x11/2"x1/8" con un peso de 10.98 kilogramos por 6 metros de longitud. Entonces se tiene:

$$\text{Peso del ángulo} = P_{\text{ang}} = \frac{10.983 * 1.7}{6} = 3.12 \text{ kg}$$

Se realizó el diagrama de cuerpo libre del ducto entre 2 soportes para comprobar que estos cumplan utilizando las dimensiones de ductos más grandes que se tiene en el proyecto (64"x16"):

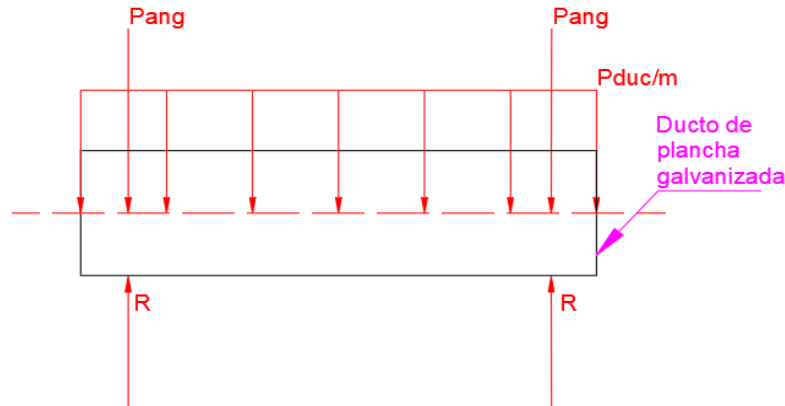


Figura 2.6 Diagrama de cuerpo libre del ducto de 64"x16" entre 2 colgadores

Nota: En la figura 2.6 se ilustra el diagrama de cuerpo libre de un ducto de 64"x16" soportado entre dos colgadores. Este análisis se realiza para verificar que los soportes sean adecuados para las dimensiones del ducto más grande considerado en el proyecto. En el esquema se muestran las cargas distribuidas (Pduc/m) aplicadas por el peso del ducto y las reacciones (R) en los puntos de soporte, así como las cargas puntuales adicionales (Pang) en los extremos del ducto.

$$\sum f_y = 2 * R - Pduc - 2 * Pang$$

$$2R - 57.88 - 2 * 3.12 = 0$$

$$2R = 64.12$$

$$R = 32.06 \text{ kgf}$$

R es la fuerza que resisten 2 varillas roscadas. Por lo tanto, se cumple que estos soportes cumplen con la carga solicitada. Según el anexo A.10, para la carga solicitada y la dimensión mayor del ducto más grande del proyecto, se recomienda ángulos de 11/2"x11/2"x1/8" con una carga admisible de 45.36 kgf para soportar los ductos. Todos estos se asegurarán firmemente a techos mediante tacos de expansión de 3/8".

2.5. Selección de equipos

2.5.1. Selección de ventiladores

2.5.1.1. Selección de Jet Fan

Para la extracción de humos en los estacionamientos subterráneos, se emplearon sistemas de ventilación por impulso o Jet Fans, debido a la geometría del edificio. Estos ventiladores inducen el movimiento del aire hasta el punto final de extracción, garantizando una ventilación eficiente en todas las áreas. Los Jet Fans transportan el aire contaminado hacia un conducto de mampostería destinado a la descarga de monóxido y humos. Este conducto, hecho de concreto, se extiende hasta el nivel superior del edificio (planta de recorrido), donde se encuentra un equipo de extracción que succiona los contaminantes de todos los niveles del sótano y los expulsa al exterior.

Los Jet Fans deberán ser certificados para sistemas de extracción de humos a altas temperaturas (300°C o HT-UL-III) durante 2 horas de operación.

Los principales fabricantes de estos equipos son:

- GreenHeck U.S. A
- Soler & Palau Europa (España – México)
- Systemair Europa (Suecia)
- Sodeca Europa (España)

El número de Jet Fans por estacionamiento subterráneo depende del área de ventilación, arquitectura y geometría del estacionamiento y criterios de diseño. Es necesario seleccionar un equipo con el fin de analizar sus características mecánicas y eléctricas. Con esta información, se podrá calcular el número mínimo de equipos requeridos para satisfacer las necesidades del sistema. Se seleccionará un ventilador Jet Fan que se adapte al perímetro permitido y nivel sonoro. Los siguientes cálculos se realizarán para calcular el número de Jet Fans

Sección transversal (S_j):

El diámetro equivalente (D_j) se obtiene comparando con el área real de la boca de descarga.

$$S_j = \frac{\pi * D_j^2}{4}, \text{ en m}^2$$

Velocidad de salida de descarga del Jet Fan (V_j):

$$V_j = \frac{Q_j}{A_j}, \text{ en } \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Fuerza de empuje (F):

Este valor se comprueba con el mostrado en los catálogos del fabricante

$$F = \frac{4}{\pi} * \rho * \left(\frac{Q_j}{D_j}\right)^2, \text{ en N}$$

Superficie de ventilación normal (Spn):

La velocidad inducida (V_i) se obtiene de la tabla (2.12) del cálculo de extracción de humos

$$Spn = \frac{F}{0.52 * \rho * V_i^2}, \text{ en m}^2$$

Longitud del dardo (Ld):

$$Ld = 5 * \frac{V_o}{V_i} * D_j, \text{ en m}$$

Ancho del dardo (Wd) o distancia entre equipos:

$$Wd = \frac{Spn}{Ld}, \text{ en m}$$

Número mínimo de Jet Fans:

$$\# \text{ min. Jet Fans} = \frac{\text{Área total}}{Spn}$$

Para realizar los cálculos y hallar la cantidad mínima de jets fans, se selecciona el jet fan modelo IFHT-4-50N marca Soler & Palau.

Marca: Soler & Palau

Modelo: IFHT-4-50N

Caudal (Qj): 5750 m³/h

Ancho de boca de descarga (H_j): 0.15 m

Largo de boca de descarga (H_j): 0.8 m

2.5.1.1.1. Resultados del número de Jet Fans

Con estos valores se podrá seleccionar la cantidad de Jet Fans adecuados para el sistema de extracción de humos en cada uno de los estacionamientos. El número de Jet Fans instalados es mayor que el mínimo calculado, ya que también se tomó en cuenta la forma arquitectónica del edificio para asegurar una cobertura y eficiencia óptimas. En la tabla 2.27 se muestra los números de jet fans calculados por nivel.

Tabla 2.27 Determinación del número de Jet Fans de los sótanos

Descripción	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3	Sótano 4
Caudal de Jet Fan elegido	Q_j	$\frac{m^3}{s}$	1.597	1.597	1.597	1.597
Ancho de la boca de descarga	H_j	m	0.15	0.15	0.15	0.15
Largo de la boca de descarga	L_j	m	0.8	0.8	0.8	0.8
Diámetro equivalente de la boca de descarga	D_j	m	0.390	0.390	0.390	39.000
Sección transversal de la boca de descarga	S_j	m^2	0.120	0.120	0.120	0.120
Velocidad de salida del jet fan	V_j	m/s	13.310	13.310	13.310	13.310
Fuerza de empuje	F	N	50.000	50.000	50.000	50.000
Superficie de ventilación normal	S_{pn}	m^2	205.128	179.540	179.540	148.999
Longitud de dardo	L_d	m	41.528	38.851	38.851	3539.299
Distancia entre Jet Fans	W_d	m	4.940	4.621	4.621	0.042
Número mínimo de Jet Fans		-	6.859	9.547	9.864	11.745
Número final de Jet Fans			7 unidades	10 unidades	10 unidades	12 unidades

Nota: Se muestra en la tabla la determinación del número de Jet Fans requeridos para los diferentes sótanos del proyecto. Se incluyen parámetros como el caudal del Jet Fan ($1.597 \text{ m}^3/\text{s}$), las dimensiones de la boca de descarga (0.15 m de ancho y 0.8 m de largo), la velocidad de salida (13.310 m/s), la fuerza de empuje (50,000 N), y la superficie de ventilación normal. En el sótano 1 se requieren 7 unidades, mientras que en el sótano 4 el número aumenta a 12 unidades debido a mayores requerimientos de ventilación.

A continuación, se muestra un esquema con la posición de los jets fans por nivel:



Figura 2.7 Posición de jet fans del sótano 1

Nota: En la figura 2.7 se presenta un esquema que detalla la posición de los jet fans en el sótano 1. Estos equipos están estratégicamente ubicados para garantizar una distribución eficiente del flujo de aire en todo el nivel, asegurando una adecuada ventilación y la extracción de contaminantes. La disposición de los jet fans también considera la optimización del espacio disponible y el acceso para mantenimiento.



Figura 2.8 Posición de jet fans del sótano 2,3 y 4

Nota: En la figura 2.8 se observa un esquema que muestra la distribución de los jet fans en los sótanos 2, 3 y 4. Los equipos están colocados de manera estratégica para cubrir uniformemente cada nivel, garantizando una ventilación adecuada y eficiente. La disposición permite una correcta circulación del aire y la extracción de contaminantes, manteniendo las condiciones ambientales seguras y saludables.



Figura 2.9 Posición de jet fans del sótano 5

Nota: En la figura 2.9 se detalla la ubicación de los jet fans en el sótano 5. Estos equipos están posicionados estratégicamente para garantizar una circulación de aire eficiente en este nivel. Su distribución asegura la eliminación de contaminantes, mejorando la calidad del aire y cumpliendo con los estándares de seguridad y ventilación.

Con los resultados de la tabla 2.27, se obtiene la tabla 2.28 donde indica la cantidad de jets fans usados para el proyecto, el caudal, empuje, tipo de equipo, potencia, presión, etc. Los 39 jets fans serán de la misma marca, capacidad y modelo. En la figura 2.10 se muestra el modelo del jet fan que se usará para el proyecto.

Tabla 2.28 Parámetros del Jet Fan seleccionado

Cantidad	39
Caudal en caso de incendio (CFM)	3384
Empuje (N)	50/13
Tipo	centrífugo de bajo perfil
Potencia (kW)	1.5/0.21
Electricidad	380 V - 3F - 60 Hz
Presión sonora (dBA)	75/59
Resistencia a las temperaturas	400°C - 2 horas
Marca	Soler & Palau

Nota: Se muestra en la tabla los parámetros del Jet Fan seleccionado para el sistema de ventilación. Este modelo tiene una cantidad total de 39 unidades, con un caudal en caso de incendio de 3384 CFM y un empuje de 50/13 N. Es del tipo centrífugo de bajo perfil, con una potencia de 1.5/0.21 kW, funcionando con electricidad de 380 V, trifásico y 60 Hz. La presión sonora es de 75/59 dBA, y cuenta con una resistencia a temperaturas de hasta 400 °C durante 2 horas. La marca seleccionada es Soler & Palau.



Figura 2.10 Jet Fan centrífugo no tubular IFHT- 4- 50N

Tomado de “ventiladores centrífugos de impulso”, (Soler & Palau 2021: 3)ç

Nota: En la figura 2.10 se presenta un jet fan centrífugo no tubular modelo IFHT-4-50N. Este tipo de ventilador es diseñado para impulsar grandes volúmenes de aire, permitiendo la dispersión y renovación eficiente del mismo en espacios cerrados como estacionamientos subterráneos. Su diseño compacto facilita la instalación y su mecanismo centrífugo asegura un funcionamiento óptimo con bajos niveles de ruido. Es ideal para garantizar la eliminación de contaminantes y mantener un ambiente seguro y ventilado.

2.5.1.2. Selección de ventilador de extracción de monóxido de carbono y humos de incendio

Según lo indicado en el artículo 69 de la norma A.010 del RNE, los sistemas de extracción de monóxido podrán también ser utilizados para la extracción de humos de incendio. El primero mencionado presenta un caudal de diseño total de 62207 CFM y el segundo 37000 CFM. Por lo tanto, para que el sistema extraiga los gases de escape del 1er al 4to sótano, se instalará 02 extractores de flujo mixto ubicados en el nivel denominado “sobre recorrido” del edificio, tal como se indica en los planos, montados cada uno de ellos sobre bases anti vibratorias (proporcionado por obra civil). Los extractores de humo deberán ser certificados para sistemas de extracción de humos a altas temperaturas (300°C o HT-UL-III) durante 2 horas de operación. En la tabla 2.29 se muestra los parámetros del extractor de monóxido y humo. En la figura 2.11 se muestra el modelo de extractor de flujo mixto QEI-300.

Tabla 2.29 Parámetros del extractor de monóxido y humos seleccionado

Cantidad	2
Capacidad nominal (CFM)	37000
Caída de presión	746 Pa
Tipo	Flujo mixto, para trabajar a alta temperatura
Potencia (HP)	30
Tipo de arranque	Por variador de frecuencia (Fire mode)
Electricidad	380 V - 3F - 60 Hz
Transmisión	Por fajas y poleas
Certificaciones	AMCA, UL 705, cUL MH11745
Resistencia a las temperaturas	300°C - 2 horas
Marca	GreenHeck

Nota: Se muestra en la tabla los parámetros del extractor de monóxido y humos seleccionado para el proyecto. El equipo cuenta con dos unidades, cada una con una capacidad nominal de 37,000 CFM y una caída de presión de 746 Pa. Es de tipo flujo mixto, diseñado para trabajar a altas temperaturas, con una potencia de 30 HP y un arranque controlado por variador de frecuencia en modo de emergencia (Fire mode). Funciona con una alimentación eléctrica de 380 V, trifásico, a 60 Hz, utilizando transmisión por fajas y poleas. Además, cuenta con certificaciones AMCA, UL 705 y cUL MH11745, y una resistencia a temperaturas de 300 °C durante 2 horas. La marca seleccionada es GreenHeck.



Figura 2.11 Extractor de flujo mixto QEI-300

Tomado de “*ventiladores de flujo mixto*”, (Greenheck 2020: 2)

Nota: En la figura 2.11 se muestra un extractor de flujo mixto modelo QEI-300. Este equipo combina características de ventiladores axiales y centrífugos, lo que le permite manejar grandes volúmenes de aire con una presión intermedia. Es ideal para aplicaciones en sistemas de ventilación que requieren alta eficiencia y bajo nivel de ruido. Su diseño robusto y compacto facilita la instalación y el mantenimiento, siendo una solución versátil en ambientes industriales y comerciales.

2.5.1.3. Selección de ventilador de inyección en sótanos

El sistema de extracción de monóxido plantea 3 montantes o ductos de inyección de aire fresco para cada sótano de estacionamiento. Según los autores especializados en el tema de ventilación, se recomienda que la capacidad total de inyección de aire por cada sótano sea el 80% del caudal de extracción. Por ende, se obtiene 30000 CFM por sótano. Esto debido a que se debe inyectar menos aire de lo que se extrae, es para que la diferencia de caudal pueda ingresar al sótano por sus propios medios (principalmente por rampas de acceso vehicular). Cada uno de estos inyectores deberá contar con una malla metálica protectora (Malla electrosoldada calibre 12, con cocada de 1”) y en la parte posterior una persiana de gravedad que se abre en el sentido del flujo de aire. Así mismo todo el conjunto Malla metálica - Inyector -Persiana deberá estar montado sobre una estructura metálica de ángulos de acero. Cada equipo deberá contar con su tablero de control al costado del equipo que permita desenergizarlo durante los mantenimientos. En la tabla 2.30 presenta los parámetros de los inyectores.

Tabla 2.30 Parámetros de inyector de aire seleccionado

Cantidad	12
Capacidad nominal (CFM)	10000
Caída de presión	79 Pa
Tipo	Inyector axial
Potencia (HP)	1
Electricidad	220 V - 1F - 60 Hz
Transmisión	Por fajas y poleas
Marca	Soler & Palau

Nota: Se muestra en la tabla los parámetros del inyector de aire seleccionado para el proyecto. El sistema consta de 12 unidades, cada una con una capacidad nominal de 10,000 CFM y una caída de presión de 79 Pa. El tipo de inyector es axial, con una potencia de 1 HP. Funciona con alimentación eléctrica de 220 V, monofásico, a 60 Hz, y utiliza un sistema de transmisión por fajas y poleas. La marca seleccionada es Soler & Palau.

En la figura 2.12 presenta el modelo de inyector 5HGB800H-HGB-800-1



Figura 2.12 Inyector 5HGB800H-HGB-800-1

Tomado de "catálogo general", (Soler&Palau 2020: 58)

Nota: En la figura 2.12 se presenta un inyector modelo 5HGB800H-HGB-800-1. Este equipo está diseñado para proporcionar un flujo eficiente de aire en aplicaciones industriales y comerciales. Su diseño incluye una hélice robusta de alto rendimiento, ideal para generar una ventilación adecuada en espacios cerrados.

2.5.2. Selección del motor eléctrico

2.5.2.1. Cálculo de potencia de motor

Para seleccionar el motor eléctrico de los ventiladores que se utilizarán, es necesario calcular la potencia que requiere cada uno de ellos. Este valor se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$P_v = \frac{Q_v * \Delta p}{n_v * 10^6}$$

Donde:

P_v : Potencia del ventilador en kW

Q_v : caudal de ventilador en l/s

Δp : Caída de presión del sistema en Pa

n_v : Eficiencia del ventilador

Debido a que la transmisión elegida es por fajas trapezoidales, la potencia que se entregará en realidad debe considerar la eficiencia de este elemento. Para este caso la eficiencia de la faja trapezoidal es de 95%. En la tabla 2.31 se muestra el cálculo de potencia de los ventiladores.

$$P_m = \frac{P_v}{n_f}$$

Donde:

P_m : Potencia entregada por el motor en kW

n_f : eficiencia de la faja de transmisión

Tabla 2.31 Cálculo de potencia de los ventiladores

Parámetros	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3	Sótano 4	Sótano 5	Techo
Caudal de ventilación	Qv	l/s	4720	4720	4720	4720	4720	17462
Caída de presión	DP	Pa	73.80	79.63	79.63	79.63	79.63	747
Eficiencia del ventilador	nv	-	50	50	50	50	50	54
Potencia del ventilador	Pv	kW	0.697	0.752	0.752	0.752	0.752	21.74
Eficiencia de transmisión	nf	-	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Potencia del motor	Pm	kW	0.73	0.79	0.79	0.79	0.79	22.88
Potencia nominal del motor	Pnom	HP	1	1	1	1	1	30

Nota: Se muestra en la tabla el cálculo de la potencia requerida para los ventiladores en los diferentes sótanos y el techo. Se incluyen parámetros como el caudal de ventilación, la caída de presión, la eficiencia del ventilador y de transmisión, y las potencias del ventilador y del motor. Por ejemplo, para los sótanos 1 al 5, el caudal de ventilación es de 4720 l/s, con una caída de presión de 73.80 Pa en el sótano 1 y 79.63 Pa en los demás. La potencia nominal del motor para estos niveles es de 1 HP. En el techo, el caudal de ventilación aumenta a 17462 l/s, con una potencia nominal del motor de 30 HP.

Según catálogo de motores w22 – IE2 High Efficiency 60Hz (anexo A.15 y 16) se obtiene una potencia nominal de 1 HP y 30 HP para los motores de los ventiladores de la marca WEG.

2.5.2.2. Tiempo de aceleración

Una vez elegido el motor eléctrico, es fundamental comprobar si podrá operar adecuadamente durante el arranque sin sobrecalentarse. Durante el tiempo de aceleración, se alcanza la corriente máxima, y si esta se mantiene durante un periodo prolongado, puede generar temperaturas perjudiciales para el motor. Por lo tanto, es crucial calcular el tiempo de aceleración y asegurarse de que no exceda los valores recomendados en la tabla 2.30. En la tabla 2.32 se muestra los tiempos de aceleración máximos en motores eléctricos.

Tabla 2.32 Tiempo de aceleración máximo (*)

Máximo tiempo de aceleración (s)	Motores de potencia hasta (kW)
6	5
10	10
16	16
21	70
24	100

(*) Tomado de “*tiempo de aceleración en motores eléctrico*”, (Vargas-Machuca 1990:252)

Nota: Se muestra en la tabla el tiempo máximo de aceleración permitido para motores según su potencia. Por ejemplo, para motores con una potencia de hasta 5 kW, el tiempo máximo de aceleración es de 6 segundos. Para motores de mayor potencia, como los de hasta 100 kW, el tiempo máximo de aceleración aumenta a 24 segundos.

El tiempo de aceleración se determina mediante la siguiente ecuación:

$$t_a = \frac{2\pi}{60} * \left(\frac{J_m + J_e}{T_{mmed} - T_{rmed}} \right) * n_1$$

Donde:

t_a : tiempo de aceleración

J_m : Inercia del motor en $\text{kg}\cdot\text{m}^2$

J_e : Inercia de la carga referida al eje del motor en $\text{kg}\cdot\text{m}^2$

T_{mmed} : Torque de motor medio en N-m

T_{rmed} : Torque resistente medio en N-m

n_1 : Velocidad de rotación del motor en RPM

El momento de inercia del motor se obtiene del catálogo de los ventiladores. Este momento de inercia, referido al motor, se asocia a un acople directo entre el motor y la carga, dependiendo de la relación de transmisión entre ambos. La carga en este contexto hace referencia al rodete del ventilador, cuya inercia debe ser superada para asegurar un funcionamiento adecuado del sistema.

Es importante tener en cuenta que el valor de inercia de las poleas y las correas se considera despreciable en el cálculo, ya que su influencia es mínima en comparación con la inercia del motor y el ventilador. Esto permite simplificar los cálculos y centrarse en los componentes principales que afectan al rendimiento del sistema.

$$J_e = J_{\text{carga}} * \left(\frac{1}{i} \right)^2$$

Donde:

J_{carga} : Inercia de la carga en $\text{kg}\cdot\text{m}^2$

i : relación de transmisión

n_2 : velocidad de rotación del ventilador en rpm

La relación de transmisión viene dada por la siguiente expresión:

$$i = \frac{n_1}{n_2}$$

El torque de motor medio se puede hallar mediante la siguiente expresión:

$$T_{\text{med}} = 0.45 * \left(\frac{T_p}{T_n} + \frac{T_{\text{máx}}}{T_n} \right) * T_n * 9.81$$

Donde:

T_p : Torque de rotor bloqueado o de arranque en kgf-m

$T_{\text{máx}}$: Torque máximo en kgf-m

T_n : Torque nominal en kgf-m

La relación entre el torque de rotor bloqueado y el torque máximo en relación con el torque nominal se encuentra en los catálogos de motores. Asimismo, el torque resistente medio es el torque que el motor requiere durante su operación normal.

$$T_{\text{rmed}} = \frac{T_v}{i}$$

Donde:

T_v : Torque del ventilador

w_2 : velocidad angular del ventilador

$$T_v = \frac{P_v * 1000}{w_2}$$

Mediante estos datos se puede calcular el tiempo de aceleración para los diferentes motores de ventiladores usados en el proyecto. En la tabla 2.33 se presenta el cálculo de los tiempos de aceleración de los motores del proyecto

Tabla 2.33 Cálculo del tiempo de aceleración de los motores

Parámetro	Símbolo	Unidad	S1	S2	S3	S4	S5	Techo
Inercia del motor	Jm	Kg·m ²	0.00 2	0.00 2	0.00 2	0.00 2	0.00 2	0.191
Velocidad de rotación de motor	n1	rpm	1720	1720	1720	1720	1720	1775
Velocidad de rotación del ventilador	n2	rpm	850	850	850	850	850	850
Relación de transmisión	i	-	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02	2.088
Inercia del rodete del ventilador	Jcarga	Kg. M ²	8.61	8.61	8.61	8.61	8.61	25.83 1
Inercia de la carga referida al motor	Je	Kg. M ²	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	5.924
Torque nominal del motor	Tn	Kgf.m	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	12.1
Torque de arranque respecto al nominal	Tp/Tn	-	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	3
Torque máximo respecto al nominal	Tmax/Tn	-	3	3	3	3	3	3
Torque de motor medio	Tmed	N.m	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	320.4
Potencia del ventilador	Pv	kW	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	22
Velocidad angular del ventilador	w2	rad/s	83.7	83.7	83.7	83.7	83.7	83.77
Torque del ventilador	Tv	N.m	8.95	8.95	8.95	8.95	8.95	262.6
Torque resistente medio	Trmed	N.m	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	125.7
Tiempo de aceleración	ta	s	4.89	4.89	4.89	4.89	4.89	5.83
Tiempo de rotor bloqueado	trb	s	35	35	35	35	35	10

Nota: Se muestra en la tabla el cálculo del tiempo de aceleración de los motores, considerando diversos parámetros como la inercia del motor, velocidades de rotación, torque y potencia. Por ejemplo, en los sótanos del S1 al S5, la inercia del rodete del ventilador es de 8.61 kg·m², mientras que en el techo aumenta significativamente a 25.83 kg·m². El torque nominal del motor en los sótanos es de 0.42 kgf·m, pero en el techo alcanza los 12.1 kgf·m. El tiempo de aceleración calculado para los motores en los sótanos es de 4.89 segundos, mientras que en el techo es de 5.83 segundos.

Como se puede observar, el tiempo de aceleración de los motores no supera los 6 segundos, que es el tiempo permitido para motores de hasta 5 kW. Además, este tiempo no excede el tiempo de rotor bloqueado del motor seleccionado.

2.5.2.3. Método de arranque de motores

En el momento del arranque de motor se genera altos picos de corriente eléctrica, la cual produce caída de tensión. Por todo lo anterior existe métodos de arranque que se puedan optar dependiendo del tipo de aplicación del motor. La tabla 2.34 presenta los diferentes tipos de arranque de motores trifásicos.

Tabla 2.34 Tipos de arranque de motores trifásicos (*)

	Directo	Estrella Triángulo	*Part winding*	Resistencia	Autotransformador	Motor anillos	"Soft starter"	Convertidor frecuencia
Motor	Estándar	Estándar	6 devanados	Estándar	Estándar	Específico	Estándar	Estándar
Costo	+	++	++	+++	+++	+++	+++	++++
Corriente arranque motor	5 a 10 In	2 a 3 In	2 In	Aprox. 4.5 In	1.7 a 4 In	Aprox. 2 In	4 a 5 In	In
Caída de tensión	Alta	Alta en el cambio de conexión	Baja	Baja	Baja; precaución al conectar en directo	Baja	Baja	Baja
Armónicos de tensión y corriente	Alto	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Bajo	Alto	Alto
Factor de potencia	Bajo	Bajo	Moderado	Moderado	Bajo	Moderado	Bajo	Alto
Número de arranques disponibles	Restringido	2-3 veces más que directo	3-4 veces más que directo	3-4 veces más que directo	3-4 veces más que directo	2-3 veces más que directo	Limitado	Elevado
Par disponible	Aprox. 2.5 Cn	0.2 a 0.5 Cn	2 Cn	Cn	Aprox. 0.5 Cn	Aprox. 2 Cn	Aprox. 0.5 Cn	1.5 to 2 Cn
Solicit. térmica	Muy alta	Alta	Moderada	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Baja
Solicitud mecánica	Muy alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Baja	Moderada	Baja
Tipo de carga recomendado	Cualq.	Sin carga	Par creciente	Bombas y vent.	Bombas y vent.	Cualq.	Bombas y vent.	Cualq.
Carga gran inercia	Si	No	No	No	No	Si	No	Si

(*) Tomado de "arranque de motores trifásicos", (Schneider Electric 2009: 67)

Nota: Se muestra en la tabla los diferentes tipos de arranque para motores trifásicos, con sus características principales. Por ejemplo, el arranque directo tiene un costo bajo y una corriente de arranque entre 5 a 10 veces la corriente nominal, pero presenta una alta caída de tensión y alta sollicitación térmica y mecánica. En contraste, opciones como el "soft starter" o el convertidor de frecuencia ofrecen mayores ventajas en términos de moderada a baja sollicitación mecánica y térmica, aunque con un costo más elevado.

De acuerdo con los cálculos realizados previamente, el arranque estrella-triángulo es la opción más adecuada para los equipos del proyecto, ya que presenta una baja corriente de arranque del motor y una buena relación entre el torque y la intensidad. Además, en un arranque estrella-triángulo, tanto el torque como la corriente de arranque se reducen aproximadamente a un tercio de los valores correspondientes al arranque directo.

2.5.3. Aislamiento de vibraciones

Se tiene el extractor de monóxido de carbono y humos, el cual tiene un peso de 1000 kg y una velocidad de giro de 850 rpm. Este necesita una losa flotante anti vibrante y aisladores de vibraciones. De acuerdo con el peso se tiene 4 puntos de apoyo de 250 kg.

Del catálogo de AIRSUM se tiene la gráfica deflexión (mm) vs carga (kg/muelle). La deflexión está relacionada con la frecuencia natural (F_n) viene dado por la siguiente ecuación:

$$F_n = \frac{15.8}{\sqrt{\text{deflexión}}}$$

Con estos datos se entra a la gráfica con el valor conocido que es la carga: 250 kg/muelle y se halla el tipo de aislamiento de vibraciones. En la figura 2.13 se muestra la gráfica de deflexión vs carga por muelle.

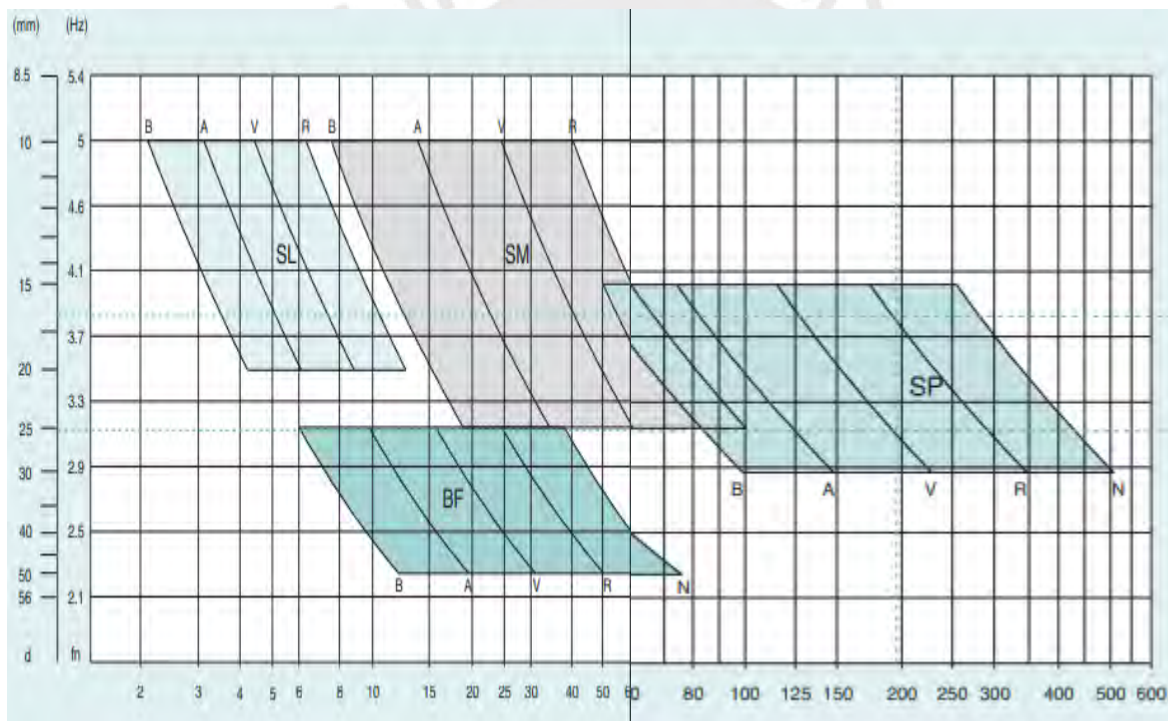


Figura 2.13 Deflexión vs carga por muelle

Tomado de "diagrama de selección de muelles", (AIRSUM 2014: 6-7)

Nota: En la figura 2.13 se presenta un gráfico de deflexión frente a carga por muelle, utilizado para la selección adecuada de muelles en sistemas de amortiguación o aislamiento. Las áreas sombreadas corresponden a diferentes categorías de muelles, como SL (muelles ligeros), SM (muelles medios), SP (muelles pesados), y BF (base flotante). En el eje horizontal se muestra la carga (en kilogramos o libras), mientras que en el eje vertical se representa la deflexión (en milímetros o pulgadas).

Con esto se obtiene un aislador de vibraciones SP-R que presenta una frecuencia natural de 3.4 Hz Ahora mediante la ecuación se halla la deflexión:

$$\text{deflexión} = \left(\frac{15.8}{3.4}\right)^2 = 21.6 \text{ mm}$$

Con estos datos se muestra la tabla 2.35 con las características del aislador anti vibratorio. En la figura 2.14 se muestra el modelo del aislamiento de vibraciones seleccionado.

Tabla 2.35 Características del aislador anti vibratorio SP-R

Series	SP-R
Cantidad de muelles	4
Modelo	SP-R
Eficiencia de aislamiento	96%
A	85
B	145
H	138
d	14
M	M-12

Nota: Se muestra en la tabla las características del aislador antivibratorio modelo SP-R. Este dispositivo cuenta con 4 muelles y ofrece una eficiencia de aislamiento del 96%. Además, incluye especificaciones técnicas como A (85), B (145), H (138), d (14), y M (M-12).

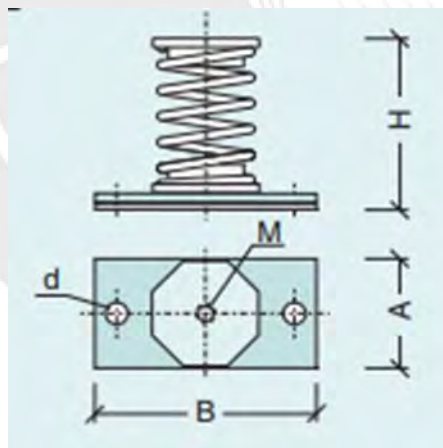


Figura 2.14 Aislador anti vibratorio de muelle SP-R, extraído de AIRSUM

Tomado de “*diagrama de selección de muelles*”, (AIRSUM 2014: 5)

Nota: En la figura 2.14 se ilustra un aislador anti-vibratorio de muelle modelo SP-R, diseñado para reducir la transmisión de vibraciones en sistemas mecánicos. El esquema muestra las dimensiones clave, como la altura total (H), el diámetro del muelle (d), el ancho de la base (B), y el diámetro de montaje (M). Estos componentes son esenciales para asegurar un rendimiento óptimo en aplicaciones donde es crítico minimizar vibraciones y ruidos estructurales.

2.5.4. Sensores de monóxido

El sistema de extracción diseñado funcionará automáticamente cuando los detectores de monóxido de carbono registren una concentración de 35 ppm o más durante más de 5 minutos. La concentración máxima de monóxido de carbono que no afecta a las personas es de 35 ppm (partes por millón o m^3 de monóxido / m^3 de aire) durante una exposición continua de 8 horas. Cuando el detector indique que el nivel de CO ha disminuido, se abrirá el contacto y se desactivará el ventilador de extracción. Al activarse los extractores de CO, los equipos Jet Fan e inyectores de aire fresco también deberán encenderse simultáneamente. Además, el sistema de control central del edificio deberá poner en funcionamiento los extractores e inyectores de aire en un horario determinado por el operador del estacionamiento, incluso si no hay una concentración excesiva de CO, con el fin de renovar el aire en los estacionamientos. Este modo de ventilación también debe lograrse independientemente del sistema de automatización, para lo cual cada uno de los tableros debe contar con un temporizador. El controlador del sistema de automatización analizará de donde vino la señal y prenderá los extractores, a través de un arrancador de tensión reducida. Así mismo todos los tableros de arranque de los extractores deben tener la opción Manual Automático (MOA).

En cada sótano los sensores deberán reportar en tiempo real el nivel de concentración de monóxido, en tal sentido estos sensores deben tener un display LCD incorporado. Los sensores de humo pueden ser distribuidos a lo largo del área y cada detector debe cubrir como mínimo un área de 200 metros cuadrados. En la tabla 2.36 se muestra los parámetros de selección de los sensores de monóxido de carbono.

Tabla 2.36 Parámetros de selección de sensores de monóxido de carbono

Parámetros	Unidades	Valor
Concentración de CO	ppm	35
Área de cobertura	m^2	200
Frecuencia de muestreo máxima	min	10
Altura de instalación	m	1.5

Nota: Se muestra en la tabla los parámetros de selección para sensores de monóxido de carbono (CO). Estos sensores están diseñados para detectar concentraciones de CO de hasta 35 ppm, con un área de cobertura de 200 m^2 . Su frecuencia máxima de muestreo es de 10 minutos, y deben instalarse a una altura de 1.5 metros.

Se seleccionó el sensor de monóxido marca OPTIMAL CONTROLS. En la tabla 2.37 se presenta las características del sensor de monóxido seleccionado.

Tabla 2.37 Características del sensor de monóxido de carbono Optimal Controls

Condiciones de operación	-20°C a 50°C, 15% a 90%HR
Rango de medición	0.5-500 ppm
Alimentación	220V, 60 HZ
Punto de activación	A partir de 35 ppm
Cobertura máxima	700 m2
Tipo de sensor	Electroquímico

Nota: Se muestra en la tabla las características del sensor de monóxido de carbono modelo *Optimal Controls*. Este sensor opera en un rango de temperatura de -20°C a 50°C y humedad relativa entre el 15% y el 90%. Su rango de medición abarca de 0.5 a 500 ppm, con un punto de activación configurado a partir de 35 ppm. La cobertura máxima es de 700 m², utiliza alimentación de 220 V a 60 Hz y emplea tecnología electroquímica.

En la figura 2.15 se presenta el modelo del sensor de monóxido seleccionado.



Figura 2.15 Sensor de monóxido COS-231M-RL-220

Tomado de "ficha técnica de sensor de monóxido", (Optimal Controls 2021:1)

Nota: En la figura 2.15 se presenta el sensor de monóxido de carbono modelo COS-231M-RL-220. Este dispositivo está diseñado para monitorear continuamente los niveles de monóxido de carbono en el ambiente, proporcionando lecturas precisas en tiempo real. El sensor emite señales de alerta y controla sistemas de ventilación cuando los niveles de concentración superan los límites establecidos, garantizando un ambiente seguro. Su diseño compacto y funcional facilita su instalación en espacios industriales, comerciales y residenciales.

2.6. Diseño de la instalación eléctrica

El presente proyecto se llevará a cabo de acuerdo con las normas técnicas establecidas en el Código Nacional de Electricidad. Para diseñar la instalación eléctrica que controlará los motores eléctricos que accionan a los ventiladores (inyectores y extractores) se debe considerar:

1. Ubicación de los tableros de los equipos de ventilación
2. Dimensionamiento de conductores
3. Selección de elementos de protección
4. Diseño del circuito de mando de los motores eléctricos
5. Elaboración del diagrama unifilar, fuerza y control.

2.6.1. Distribución de los tableros eléctricos

Los equipos de ventilación están ubicados en los distintos sótanos del proyecto. Por lo tanto, cada equipo debe contar con su propio tablero de control, que deberá estar conectado al tablero general de los estacionamientos, el cual gestiona los diversos sistemas, como iluminación, tomacorrientes, entre otros.

2.6.2. Dimensionamiento de los conductores

El dimensionamiento de los conductores de acometida se realiza considerando las características específicas del sistema y los factores de demanda aplicables. Este proceso incluye el cálculo de la sección mínima requerida para el conductor, la cual debe ser capaz de soportar la corriente máxima prevista sin exceder los límites de temperatura permisibles. Además, se evalúa la capacidad del conductor para manejar la corriente, teniendo en cuenta la caída de tensión permitida y las exigencias del sistema eléctrico.

Otro aspecto fundamental en el dimensionamiento es garantizar la protección adecuada contra sobrecargas y cortocircuitos. Esto implica seleccionar conductores que sean compatibles con los dispositivos de protección instalados, asegurando que puedan interrumpir la corriente en condiciones de falla sin comprometer la seguridad del sistema.

Los conductores utilizados pueden ser de diferentes materiales, como metálicos, electrolíticos o incluso gaseosos, dependiendo de las necesidades específicas del proyecto. En Perú, el calibre de los conductores se expresa en términos de su sección transversal en milímetros cuadrados (mm^2), lo que permite un estándar claro y uniforme para su selección. Entre los tipos más comunes de conductores se encuentran los modelos THW, NH, CPI y TW, cada uno adecuado para aplicaciones específicas según las condiciones ambientales y las exigencias eléctricas.

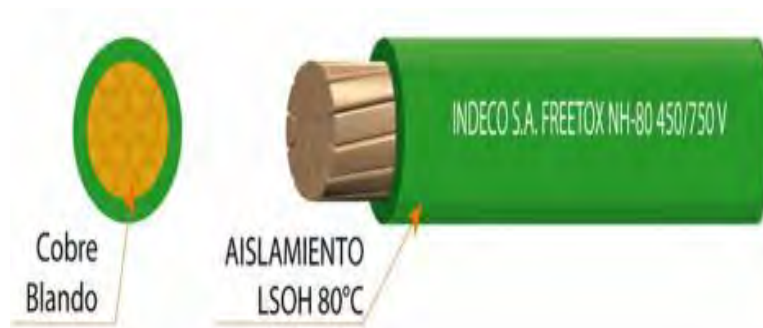


Figura 2.16. Partes de un conductor NH80

Tomado de “partes de conductor Freetox NH-80”, (Indeco 2021:1)

Nota: En la figura 2.16 se muestran las partes de un conductor modelo NH80. Este conductor está compuesto por un núcleo de cobre blando, que garantiza una excelente conductividad eléctrica, y una capa de aislamiento de material LSOH (Low Smoke Zero Halogen), diseñado para soportar temperaturas de hasta 80°C. Este tipo de conductor es ideal para aplicaciones donde se requieren altos estándares de seguridad, como la reducción de emisión de humos tóxicos en caso de incendio, siendo adecuado para instalaciones eléctricas en edificios residenciales, comerciales e industriales.

2.6.2.1. Alimentador principal

El diseño del alimentador principal en un sistema eléctrico que alimenta dos o más motores es un aspecto fundamental para garantizar tanto la seguridad del sistema como su operación eficiente y continua. Este diseño debe cumplir con lo estipulado por el **Código Nacional de Electricidad**, el cual establece criterios específicos para el dimensionamiento de los conductores, asegurando que puedan soportar la corriente eléctrica requerida bajo diferentes condiciones operativas. Este apartado desarrolla con mayor profundidad los aspectos clave para garantizar que el alimentador principal sea adecuado para las necesidades del sistema.

Criterios principales de dimensionamiento

El **Código Nacional de Electricidad** especifica que los conductores encargados de alimentar dos o más motores deben cumplir, como mínimo, con una capacidad de conducción de corriente que responda a las siguientes condiciones:

1. 125% de la corriente nominal a plena carga del motor de mayor capacidad, sumado a la corriente nominal de plena carga de los otros motores

Este criterio aplica cuando todos los motores están diseñados para operar en un **régimen de servicio continuo**, es decir, motores que están en funcionamiento constante durante largos períodos de tiempo. El alimentador debe ser capaz de manejar:

- **El 125% de la corriente máxima del motor más grande:** Este cálculo considera la posible sobrecarga a la que estará sometido el motor más grande en condiciones operativas extremas. Dicho porcentaje adicional garantiza que el conductor no se sobrecaliente ni sufra daños bajo estas condiciones.
- **La corriente nominal del resto de los motores:** Estos motores, aunque sean de menor capacidad, también contribuyen a la carga total que debe soportar el alimentador principal.

El objetivo de este criterio es proteger los conductores frente a condiciones de demanda elevada, evitando riesgos como el sobrecalentamiento, la degradación del aislamiento o, en el peor de los casos, incendios eléctricos. Este enfoque asegura que el sistema funcione de manera continua sin interrupciones, especialmente en aplicaciones críticas como instalaciones industriales, edificios comerciales o sistemas de ventilación en estacionamientos subterráneos.

2. Suma de las corrientes calculadas utilizando la regla 160-106 para cada motor

En situaciones donde los motores están diseñados para operar en un **régimen de servicio no continuo**, el cálculo de la corriente total requerida para el alimentador principal se realiza considerando las características individuales de cada motor. Este tipo de régimen permite que algunos motores permanezcan apagados durante períodos de tiempo específicos, lo que reduce la carga promedio del sistema.

Ventajas de este enfoque:

- Permite un diseño más eficiente desde el punto de vista económico, ya que los conductores no necesitan estar sobredimensionados para manejar cargas que no estarán activas de manera simultánea.
- Ofrece flexibilidad en la operación, adaptándose a sistemas en los que la carga fluctúa dependiendo de las necesidades momentáneas.

Es crucial en este caso garantizar que los motores diseñados para operar de manera intermitente no generen sobrecargas en los conductores cuando estén en funcionamiento. Esto se logra ajustando la capacidad del alimentador en función de las corrientes máximas previstas para cada motor.

3. Cuando el grupo de motores opera en ambos regímenes de servicio (continuo y no continuo)

En sistemas donde los motores operan bajo una combinación de regímenes continuo y no continuo, el dimensionamiento del alimentador se vuelve más complejo. Es necesario considerar:

- **El 125% de la corriente nominal del motor más grande en servicio continuo:** Este cálculo asegura que el alimentador pueda soportar los picos de demanda del motor de mayor capacidad, que estará operando constantemente.
- **La corriente nominal a plena carga del resto de los motores en servicio continuo:** Esto garantiza que todos los motores diseñados para operar continuamente puedan hacerlo sin sobrecargar el sistema.
- **La corriente calculada según la regla 160-106 para los motores en servicio no continuo:** Este cálculo permite incluir los motores intermitentes en la carga total del sistema, asegurando que puedan operar sin exceder la capacidad del alimentador.

Este enfoque garantiza un equilibrio entre eficiencia y seguridad, evitando el sobredimensionamiento innecesario mientras se asegura que el sistema pueda manejar las cargas máximas previstas.

Implicaciones técnicas del diseño

El correcto dimensionamiento del alimentador principal es esencial para evitar problemas comunes en los sistemas eléctricos, como:

1. **Sobrecalentamiento de los conductores:** Si los conductores no están diseñados para manejar las corrientes previstas, pueden calentarse excesivamente, lo que podría dañar el aislamiento y, eventualmente, causar cortocircuitos o incendios.
2. **Caída de tensión:** Conductores subdimensionados pueden provocar una caída excesiva de tensión, afectando el rendimiento de los motores y otros equipos conectados al sistema.
3. **Desgaste prematuro del sistema eléctrico:** El uso de conductores inadecuados puede reducir la vida útil del sistema eléctrico, generando costos adicionales por mantenimiento y reemplazo de componentes.

Ventajas de cumplir con los estándares del Código Nacional de Electricidad

1. **Seguridad:** El cumplimiento de los criterios establecidos asegura que los conductores puedan manejar las cargas previstas de manera segura, reduciendo los riesgos de accidentes eléctricos.
2. **Confiabilidad:** Un sistema correctamente diseñado opera sin interrupciones, garantizando la continuidad del servicio en aplicaciones críticas.
3. **Eficiencia energética:** Conductores correctamente dimensionados minimizan las pérdidas por resistencia, mejorando la eficiencia operativa del sistema.
4. **Cumplimiento normativo:** Diseñar el alimentador según las normas vigentes evita problemas legales y facilita la aprobación de inspecciones técnicas.

El diseño del alimentador principal para sistemas que alimentan dos o más motores requiere un análisis detallado de las características operativas de cada motor y de las condiciones generales del sistema. Siguiendo las directrices del **Código Nacional de Electricidad**, se garantiza que los conductores estén correctamente dimensionados para soportar las demandas de corriente en cualquier escenario operativo. Este enfoque no solo protege la integridad del sistema eléctrico, sino que también optimiza los costos de instalación y mantenimiento, asegurando una operación segura y eficiente a largo plazo.

Según la regla 160-106, para los motores utilizados en un régimen de servicio no continuo, se establece que los valores de la Tabla 2.38 para la condición de carga correspondiente deben ser multiplicados por la corriente nominal del motor a plena carga. El resultado de esta multiplicación se utiliza para determinar la capacidad de corriente que deben tener los conductores que alimentan dicho motor.

Este procedimiento asegura que los conductores sean dimensionados correctamente, teniendo en cuenta la corriente máxima que podría ser demandada por el motor durante su funcionamiento en un régimen de servicio no continuo. En otras palabras, aunque el motor no opere de manera constante, se calcula la capacidad de corriente necesaria para evitar que el conductor se sobrecaliente o falle durante los picos de corriente que pueden ocurrir durante el arranque o la reanudación del funcionamiento del motor.

Tabla 2.38 Determinación de las secciones del conductor para motores según diferentes requerimientos de servicio (*)

Clasificación del servicio	Porcentaje de corriente nominal de placa del motor			
	5 minutos	15 minutos	30-60 minutos	Continuo
Corta duración: Válvulas, operadoras, tambores de izaje, etc.	110	120	150	-
Intermitente: Ascensores de carga y pasajeros, bombas, puentes levadizos, etc.	85	85	90	140
Periódico: Máquinas para manipulación de minerales y carbón, rodillos, etc.	85	90	95	140
Variable	110	120	150	200

(*) Tomado de "requerimientos de servicio", (MINEM 2006: tablas-61)

Para el proyecto se considera el requerimiento de servicio intermitente debido a que es un sistema de ventilación que se enciende cuando se excede el límite de monóxido de carbono (35 ppm) en los sótanos y cada cierta hora para renovar el aire. En la tabla 2.39 se presenta el tiempo estimado de trabajo de los ventiladores por sótano

Tabla 2.39. Tiempo de trabajo estimado de los ventiladores por sótano

Descripción	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3	Sótano 4-5
Caudal de humo	V_f	m^3/s	17.46	17.46	17.46	17.46
Volumen	V	m^3	7035	4800	4960	5470
Tiempo	T_{trab}	Min	6.71	4.60	4.75	5.22

De acuerdo con la tabla 2.38 y 2.39 se obtuvo como resultado un porcentaje de corriente nominal de placa del motor del 85%. Se suma las corrientes nominales de todos los motores conforme a los anexos A.15 y A.16 de ventilación del proyecto para hallar la capacidad de corriente del alimentador. Según la regla 160-106, es 236.09 A.

Para establecer la capacidad de carga de los conductores que alimentan los motores, primero es necesario definir su método de instalación. Existen cinco métodos de instalación, los cuales están detallados en el Código Nacional de Electricidad de Perú, de acuerdo con las normas NTP 370.301 e IEC 60364-5-523 (Anexo A.17). Se selecciona como método de instalación los cables unipolares en tubo en una pared (B1) para proteger los conductores secundarios. El material del aislamiento de los conductores es un tipo de cable libro de halógeno, retardante a la llama NH-80. En el anexo A.20 se encuentra los valores nominales de la sección del conductor de acuerdo

con el método de instalación y la capacidad de corriente en amperios. Para hallar la capacidad de carga corregida se debe usar la siguiente expresión:

$$I_{corr} = C_t * C_{agr} * I_{adm}$$

Donde:

I_{corr} : Capacidad de carga corregida (A)

C_t : Factor de corrección por temperatura

C_{agr} : Factor de corrección por agrupación

I_{adm} : capacidad de carga admisible (A)

El factor de corrección por temperatura de acuerdo con el anexo A.19 es de uno para una temperatura de 20°C y el factor de corrección por agrupamiento (anexo A.18) para un circuito en el tubo es uno. Para el conductor principal, debido a intensidad de corriente, se utilizará el método de instalación dentro de un tubo empotrado en una pared (B1). En la tabla 2.40 se muestra el dimensionamiento del conductor principal.

Tabla 2.40. Dimensionamiento de conductor principal

	Intensidad (A)	Factor de servicio	Factor de temperatura (C_t)	Factor de agrupación (C_{agr})	Intensidad corregida I_{corr} (A)	Sección del conductor Acond (mm^2)
Alimentador	277.75	0.85	1	1	236.09	150

2.6.2.2. Alimentador secundario

Una vez dimensionado el alimentador principal, que se extiende desde el tablero general del edificio hacia el tablero de ventilación, será necesario dimensionar los conductores que van desde el tablero de ventilación hacia los tableros de ventiladores ubicados en los diferentes sótanos. Se aplicó el mismo procedimiento que se usó para dimensionar el conductor principal (regla 160-106) con un factor de servicio de 85%. En cada piso habrá un subtablero para el encendido y apagado en caso de emergencia. En el caso del techo se denominará un tablero del extractor como subtablero (principal) y de ahí repartirá hacia el otro tablero. Los extractores, jet fan e inyectores, cada uno de ellos, tendrá su propio tablero. En la tabla 2.41 se presenta los resultados de las secciones del conductor.

Tabla 2.41. Dimensionamiento de conductores por piso (tablero de ventilación a subtableros)

Pisos	Intensidad (A)	Factor de servicio	Intensidad admisible ladm (A)	Factor de agrupación (Cagr)	Factor de temperatura (Ct)	Intensidad corregida lcorr (A)	Sección del conductor Acond(mm ²)
Sótano 5	11.9	0.85	10.115	1	1	10.12	2.5
Sótano 4	48.86	0.85	41.531	0.7	1	29.07	4
Sótano 3	48.86	0.85	41.531	0.7	1	29.07	4
Sótano 2	48.86	0.85	41.531	0.7	1	29.07	4
Sótano 1	33.67	0.85	28.6195	1	1	28.62	4
Techo	85.6	0.85	72.76	1	1	72.76	25

Del sótano 2 al sótano 5 se tiene una montante, en la cual irán los conductores de los subtableros de cada nivel en una tubería conduit. Debido a que del sótano 2 al sótano 4 se tiene la misma carga, se obtiene un factor de agrupación de 0.7. Este no se usa en el sótano 5 a pesar de estar en la misma tubería conduit debido a que tiene otra capacidad de carga. En la tabla 2.42 se presentarán los valores de la sección del conductor del subtablero por piso hacia los tableros de los equipos. Para el caso de los inyectores y jet fan se tendrá un solo circuito para cada grupo de equipos.

Tabla 2.42. Dimensionamiento de conductores del subtablero a tablero de equipos

Pisos	Intensidad (A)	Factor de servicio	Intensidad admisible ladm (A)	Factor de agrupación (Cagr)	Factor de temperatura (Ct)	Intensidad corregida lcorr (A)	Sección del conductor Acond (mm ²)
Inyectores S1	10.64	0.85	9.04	1	1	9.04	2.5
Inyectores S2, S3 y S4	15.96	0.85	13.57	1	1	13.57	2.5
Inyectores S5	5.32	0.85	4.52	1	1	4.52	2.5
Jet Fans S1	23.03	0.85	19.58	1	1	19.58	2.5
Jet Fans S2	32.90	0.85	27.97	1	1	27.97	4
Jet Fans S3	32.90	0.85	27.97	1	1	27.97	4
Jet Fans S4	32.90	0.85	27.97	1	1	27.97	4
Jet Fans S5	6.58	0.85	5.59	1	1	5.59	2.5
Extractor 2	42.80	0.85	36.38	1	1	36.38	6

En la tabla 2.43 se presenta la sección de conductor del tablero de los equipos hacia los equipos.

Tabla 2.43. Dimensionamiento de conductores del subtablero a tablero de equipos

	Intensidad (A)	Factor de servicio	Factor de temperatura (Ct)	Factor de agrupación (Cagr)	Intensidad corregida Icorr (A)	Sección del conductor Acond (mm ²)
Extractor	42.8	0.85	1	1	36.38	6
Inyector	5.32	0.85	1	1	4.52	2.5
Jet Fan	3.29	0.85	1	1	2.8	2.5

2.6.2.3. Caída de tensión

La caída de tensión es la diferencia de potencial que se presenta entre los extremos de cualquier conductor. Para los conductores seleccionados, es necesario verificar que la caída de tensión no exceda los valores establecidos en la tabla 2.44.

Tabla 2.44. Caída de tensión admisible (*)

Circuito	Caída de tensión admisible (%)
Circuito de motores	3
Circuito de alumbrados	1
Circuitos derivados	2.5
Alimentador y circuitos derivados	4

(*) Tomado de "caída de tensión", (MINEM 2006: sección 050-61)

La caída de tensión en porcentaje se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta U\% = \frac{0.03092 * I_t * L_{carga} * 100\%}{Acond * U}$$

Dónde:

$\Delta U\%$: Caída de tensión, en porcentaje.

I_t : Corriente de trabajo de la carga, en A.

L_{carga} : Distancia de la carga al tablero, en m.

Acond: Área de la sección del conductor, en mm².

U: Tensión, en V.

La corriente de trabajo de cada motor trifásico se define mediante la siguiente ecuación:

$$I_t = \frac{1000 * P_{e.m} * FD}{\sqrt{3} * U * FP * \eta_m}$$

Dónde:

$P_{e.m}$: Potencia entregada por el motor, en kW

FD: Factor de demanda.

FP: Factor de potencia.

η_m : Eficiencia del motor.

En la siguiente tabla se halló la caída de tensión para cada tablero y se observa que todos cumplen con la caída de tensión recomendada de la tabla 2.44. El factor de demanda se obtuvo del anexo A.21.

Tabla 2.45. Caída de tensión para los conductos de tableros

	Lcarga (m)	U (V)	Acond (mm ²)	Pe.m (kW)	FD	FP	η_m	I_t	$\Delta U(\%)$
Alimentador	1.70	380	150	-	1	-	-	259.51	0.02
T. vent a T.ext princ 1	42.00	380	25	22	1	0.83	0.94	42.84	0.59
T. ext princ 1 a T.ext 2	2.00	380	6	22	1	0.83	0.94	42.84	0.12
Subtablero S1 a T.iny 1	47.60	220	2.5	0.75	1	0.91	0.70	5.33	1.43
Subtablero S1 a T.iny 2	0.50	220	2.5	0.75	1	0.91	0.70	5.33	0.01
Subtablero S1 a jet fan 1	48.80	380	2.5	1.5	1	0.8	0.87	3.29	0.52
Subtablero S1 a jet fan 2	30.60	380	2.5	1.5	1	0.8	0.87	3.29	0.33
Subtablero S1 a jet fan 3	22.90	380	2.5	1.5	1	0.8	0.87	3.29	0.25
Subtablero S1 a jet fan 4	19.70	380	2.5	1.5	1	0.8	0.87	3.29	0.21
Subtablero S1 a jet fan 5	29.40	380	2.5	1.5	1	0.8	0.87	3.29	0.32
Subtablero S1 a jet fan 6	44.60	380	2.5	1.5	1	0.8	0.87	3.29	0.48
Subtablero S1 a jet fan 7	56.00	380	2.5	1.5	1	0.8	0.87	3.29	0.60
Subtablero S2, S3, S4 a T.iny 1	2.50	220	2.5	0.75	1	0.91	0.70	5.33	0.07
Subtablero S2, S3, S4 a T.iny 2	44.40	220	2.5	0.75	1	0.91	0.70	5.33	1.33
Subtablero S2, S3, S4 a T.iny 3	77.50	220	2.5	0.75	1	0.91	0.70	5.33	2.32

Tabla 2.45. Caída de tensión para los conductos de tableros (continuación)

	Lcarga (m)	U (V)	Acond (mm ²)	Pe.m (kW)	FD	FP	nm	It	ΔU (%)
Subtablero S2, S3, S4 a jet fan 1	15.00	380	4	1.5	1	0.8	0.87	3.29	0.10
Subtablero S2, S3, S4 a jet fan 2	26.30	380	4	1.5	1	0.8	0.87	3.29	0.18
Subtablero S2, S3, S4 a jet fan 3	36.40	380	4	1.5	1	0.8	0.87	3.29	0.24
Subtablero S2, S3, S4 a jet fan 4	53.10	380	4	1.5	1	0.8	0.87	3.29	0.36
Subtablero S2, S3, S4 a jet fan 5	63.70	380	4	1.5	1	0.8	0.87	3.29	0.43
Subtablero S2, S3, S4 a jet fan 6	72.00	380	4	1.5	1	0.8	0.87	3.29	0.48
Subtablero S2, S3, S4 a jet fan 7	51.80	380	4	1.5	1	0.8	0.87	3.29	0.35
Subtablero S2, S3, S4 a jet fan 8	42.00	380	4	1.5	1	0.8	0.87	3.29	0.28
Subtablero S2, S3, S4 a jet fan 9	34.80	380	4	1.5	1	0.8	0.87	3.29	0.23
Subtablero S2, S3, S4 a jet fan 10	24.00	380	4	1.5	1	0.8	0.87	3.29	0.16
Subtablero S5 a T.iny 1	1.50	220	2.5	0.75	1	0.91	0.70	5.33	0.04
Subtablero S5 a T.jet fan 1	15.60	380	2.5	0.75	1	0.8	0.87	1.65	0.08
Subtablero S5 a T.jet fan 1	16.60	380	2.5	0.75	1	0.8	0.87	1.65	0.09

Cuando el motor es monofásico la fórmula de corriente de trabajo no lleva raíz de tres. Se observó que la caída de tensión no se superó en ninguno de los casos dados según la tabla 2.44. Para el caso de los alimentadores, la caída de tensión en porcentaje no superó el 4% (caída de tensión recomendada) por lo que los conductores cumplen.

2.6.3. Elementos de protección

2.6.3.1. Protección mecánica

Las tuberías que protegen los conductores adosados a la pared deben seleccionarse según su material y dimensiones. El aislamiento del conductor será del tipo NH-80, que es resistente al calor, adecuado para ambientes poco ventilados y que no emite gases tóxicos ni humo. Su temperatura de operación es de 80 °C. Dado que las tuberías son aéreas, se utilizarán tuberías tipo Conduit metálico ligero (EMT), como se muestra en la figura 2.17.

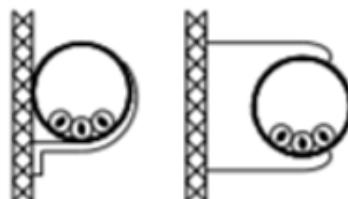


Figura 2.17. Conductores aislados dentro de un tubo sobre una pared (B1)

Tomado de "métodos de instalación", (MINEM 2006: tablas-9)

Nota: En la figura 2.17 se representan conductores aislados dentro de un tubo instalado sobre una pared, clasificado bajo el método B1 según las normas de instalación. Este esquema muestra dos configuraciones comunes en sistemas eléctricos, donde los conductores están protegidos por un tubo, asegurando un aislamiento adicional y una instalación segura. Este tipo de disposición es utilizado frecuentemente en instalaciones eléctricas residenciales e industriales para proteger los cables de daños físicos y mejorar la estética del sistema.

Para dimensionar las tuberías EMT, es necesario considerar el máximo número de conductores por tubería, el porcentaje máximo de llenado de conductos y la sección transversal de la tubería según el porcentaje de llenado (anexos A.22, A.23 y A.26). En el caso de los conductores que van desde el tablero general del edificio hacia el tablero de ventilación, se tiene una sección nominal 150 mm^2 . Para estos conductores, se utilizará una tubería de 80 mm para proteger 5 cables (3 líneas, 1 tierra y 1 neutro). Dado que la temperatura de trabajo de los conductores con aislamiento NH80 es de 80°C , se recomienda emplear tuberías con una temperatura de operación equivalente. En la tabla 2.46, se presenta el máximo porcentaje de llenado según tipo de conductor y número de circuitos.

Tabla 2.46. Máximo porcentaje de llenado de conductos y tuberías eléctricas (*)

Tipos de conductor o cable	Número de conductores o cables multiconductores				
	1	2	3	4	Más de 4
Sin cubierta de plomo	53	31	40	40	40
Con cubierta de plomo	53	30	40	38	35

(*) Tomado de "porcentaje de llenado de conductos y tuberías eléctricas", (MINEM 2006: tablas-29)

Para el proyecto, del tablero general al de ventilación, se consideró solo 1 circuito y sin cubierta de plomo. Esto hace que el máximo porcentaje de llenado de las tuberías es de 40% ya que tendría 5 cables. Se calculó el área que abarcará los conductores con aislamiento. En el anexo A.20 se encuentra los espesores de aislamiento según la sección nominal y el tipo de aislamiento conductor NH80. Para el caso del alimentador, el espesor del conductor es 1.8 milímetros. En el anexo A.20 se muestra el diámetro de conductores dando como resultado 18 milímetros y su área es de 254.47 mm^2 . Para los 5 conductores se obtuvo un área total de 1272.34 mm^2 . Según el anexo A.24, para una tubería de diámetro 80 mm (3") y un llenado de 40% se obtiene 1908 mm^2 . Además, para una tubería de 80 mm se tiene seis conductores como número máximo. Esto hace que la tubería seleccionada cumpla. En la tabla 2.47 se presentan las dimensiones de las protecciones de los conductores que van desde el tablero de ventilación hacia los equipos.

Tabla 2.47. Dimensiones de las protecciones para los conductores

	Área de la sección del conductor Acond (mm ²)	Diámetro de tubería EMT Dtub (mm)	Área de tubería 40% porcentaje de llenado Atub (mm ²)	Diámetro total de conductor Dcond(mm)	Área total conductores (mm ²)
Alimentador	150	80	1908.00	18	1272.35
T. vent a T. extractor principal(techo)	25	35	386.00	8.3	216.42
T. vent a subtablero S1	4	20	138.00	4	50.27
T vent a subtablero S2	2.5 y 4	35	386.00	GLB	189.28
T. vent a subtablero S3	2.5 y 4	35	386.00	GLB	139.02
T. vent a subtablero S4	2.5 y 4	25	223.00	GLB	88.75
Montante a Subtablero S2	4	20	138.00	4	50.27
Montante a Subtablero S3	4	20	138.00	4	50.27
Montante a Subtablero S4	4	20	138.00	4	50.27
Montante a Subtablero S5	2.5	20	138.00	3.5	38.48
T. Extractor principal a extractor 2	6	25	223.00	4.6	83.10
Subtablero S1 a inyectoros	2.5	15	78.00	3.5	28.86
Subtablero S1 a jet fan	2.5	20	138.00	3.5	48.11
Subtablero S2 a inyectoros	2.5	15	78.00	3.5	28.86
Subtablero de S2 a jet fans	4	20	138.00	4	62.83
Subtablero S3 a inyectoros	2.5	15	78.00	3.5	48.11
Subtablero de S3 a jet fans	4	20	138.00	4	62.83
Subtablero S4 a inyectoros	2.5	15	78.00	3.5	48.11
Subtablero de S4 a jet fans	4	20	138.00	4	62.83
Subtablero S5 a inyectoros	2.5	15	78.00	3.5	48.11
Subtablero de S5 a jet fans	2.5	20	138.00	3.5	48.11

2.6.3.2. Protección eléctrica

- **Guardamotor**

Los guardamotores manuales son dispositivos de protección electromecánicos utilizados en el circuito principal. Su función principal es arrancar y detener motores. Estos dispositivos ofrecen protección contra cortocircuitos, sobrecargas y fallos de fase. Además, los guardamotores aseguran una respuesta rápida ante cortocircuitos, apagando el motor en milisegundos.

El proyecto considera guardamotores de la marca ABB MS 116 debido a que son dispositivos compactos y de calidad. Estos se usaron para los tableros del proyecto y se seleccionaron de acuerdo con la corriente de trabajo de los equipos. En la figura 2.18 se muestra el modelo de guardamotor seleccionado para el proyecto.



Figura 2.18. Guardamotor manual ABB MS 116

Tomado de “control y protección de motores, contactores, reles y guardamotors”, (ABB 2016: 18)

Nota: En la figura 2.18 se muestra un guardamotor manual modelo ABB-MS-116. Este dispositivo está diseñado para proteger motores eléctricos contra sobrecargas y cortocircuitos, permitiendo una desconexión rápida y segura en caso de fallos. Su diseño compacto facilita la instalación en paneles eléctricos y proporciona control manual para encender y apagar el motor, lo que lo hace ideal para aplicaciones industriales y comerciales.

En la tabla 2.48 se muestra los guardamotors seleccionados por equipo debido a su amperaje

Tabla 2.48. Guardamotors seleccionados por equipo

Guardamotor	Modelo	Amperaje (A)
Inyector	MS 116-6.3	4 - 6.3
Jet Fan	MS 116-6.3	2.5 - 4
Extractores	MS165-54	40-54

- **Interruptor termomagnético**

El interruptor termomagnético es un dispositivo de protección eléctrica que interrumpe la corriente en un circuito cuando detecta una sobrecarga o un cortocircuito. Para el proyecto se consideró este dispositivo para los dos extractores debido a la alta corriente que presentan. Se selecciona un interruptor termomagnético C120N 3P 100A debido a que cumple con la corriente máxima nominal que presentan los dos extractores (85.6 A). En la figura 2.19 se presenta el modelo de interruptor seleccionado para el proyecto.



Figura 2.19. Interruptor termomagnético C120N 3P 100, extraído de Schneider Electric
Tomado de “*interruptores termomagnético C120N 3P 100*”, (Schneider Electric 2023: 1)

Nota: En la figura 2.19 se presenta un interruptor termomagnético modelo C120N 3P 100 de Schneider Electric. Este dispositivo combina protección térmica y magnética para salvaguardar circuitos eléctricos contra sobrecargas y cortocircuitos. Su diseño de tres polos lo hace ideal para aplicaciones trifásicas en instalaciones industriales y comerciales. Además, es fácil de instalar y garantiza una desconexión segura en caso de fallos eléctricos, contribuyendo a la seguridad del sistema.

- **Contactores**

Los contactores son dispositivos de conmutación eléctricos diseñados para aplicaciones de seguridad en máquinas. Tienen la capacidad de abrir o cerrar circuitos eléctricos que manejan cargas de intensidad que podrían generar efectos perjudiciales para el operador. Además, los contactores pueden ser accionados a distancia mediante el uso de elementos de comando. Se seleccionó contactores de la marca ABB, los cuales presentan una corriente mínima de trabajo de 9A. Para este proyecto se usarán estos dispositivos en los inyectores y jet fans. Estos presentan un amperaje y potencia menor al del contactor. En la figura 2.20 se muestra el contactor ABB seleccionado para los equipos es AF09-30-10-4, el cual tiene una corriente asignada de empleo de 9A.



Figura 2.20. Contactor AF09-30-10-4 ABB

Tomado de “control y protección de motores, contactores, relés y guardamotores”, (ABB 2016: 86)

Nota: En la figura 2.20 se muestra un contactor modelo AF09-30-10-4 de la marca ABB. Este dispositivo es utilizado para controlar circuitos eléctricos de potencia, permitiendo la conexión y desconexión de motores eléctricos de forma segura y eficiente. Su diseño compacto y modular facilita la instalación en sistemas eléctricos industriales y comerciales. Además, este contactor es reconocido por su fiabilidad y durabilidad en aplicaciones de alta demanda.

- **Variadores de frecuencia**

El variador de frecuencia es un dispositivo regulador utilizado en entornos industriales que se instala entre la fuente de alimentación y el motor. La función principal de este dispositivo es regular la energía eléctrica que pasa a través de él antes de llegar al motor, ajustando la frecuencia y la tensión según los requisitos específicos del proyecto. Esto permite un control preciso del rendimiento del motor y la optimización de su funcionamiento en función de las necesidades del proceso.

El uso de variadores de frecuencia para el control inteligente de motores ofrece una serie de ventajas importantes, tanto financieras como operativas y medioambientales. Entre los beneficios más destacados se encuentran la mejora en la productividad, el incremento de la eficiencia energética y la prolongación de la vida útil de los equipos. Además, el variador previene el deterioro de los motores y evita paradas inesperadas, las cuales podrían resultar en tiempos de inactividad no deseados y costosos.

Estos variadores son especialmente útiles en sistemas que requieren un control preciso del flujo, como en extractores de humo y monóxido instalados en techos. En este tipo de aplicaciones, los variadores de frecuencia se seleccionan en función de varios parámetros, tales como las fases del sistema, el voltaje de trabajo, la corriente y la potencia que el motor debe manejar.

En la figura 2.21, se muestra un ejemplo del variador de frecuencia ABB ACS480-04-046A-4 seleccionado para este tipo de aplicación. Este modelo es adecuado para controlar motores con alta precisión, optimizando tanto el consumo de energía como el rendimiento general del sistema



Figura 2.21. Variador de frecuencia ABB ACS480-04-046A-4, extraído de ABB

Tomado de “*convertidores de frecuencia AA de propósito general*”, (ABB 2016: 13)

Nota: En la figura 2.21 se presenta el variador de frecuencia ABB modelo ACS480-04-046A-4, seleccionado específicamente para aplicaciones que requieren un control preciso de motores. Este dispositivo permite ajustar la velocidad y el rendimiento del motor mediante variaciones en la frecuencia de alimentación, optimizando tanto el consumo de energía como la eficiencia general del sistema. Es ideal para entornos industriales y comerciales donde se busca reducir costos operativos y mejorar el desempeño.

2.6.4. Sistema de control y potencia

El sistema de control que se implementará está diseñado para gestionar de manera eficiente y automática el arranque del motor, tomando como base las señales proporcionadas por los sensores de nivel de monóxido de carbono y de humos. Este sistema tiene como función principal garantizar una respuesta inmediata ante dos situaciones críticas: la detección de niveles elevados de monóxido de carbono, establecidos en 35 ppm, y la identificación de un incendio, activando el sistema automáticamente bajo el protocolo DACI (Detección Automática Contra Incendios).

El método de arranque del motor se estructura de manera que permita una operación segura y sincronizada, asegurando que las condiciones críticas sean atendidas sin retrasos. Esta lógica de funcionamiento no solo se aplicará a un solo nivel del estacionamiento, sino que se replicará en cada piso donde esté instalado el sistema de extracción de monóxido y humos. Sin embargo,

para facilitar su comprensión, solo se detallará la lógica de control de un nivel, ya que el diseño es idéntico para el resto de los pisos.

Componentes del sistema eléctrico

El sistema eléctrico está compuesto por diversos equipos que cumplen roles específicos y complementarios dentro del sistema de control. Entre ellos se incluyen:

- **Contactores:** encargados de permitir y controlar el flujo de energía hacia el motor, asegurando un encendido seguro y eficiente.
- **Guardamotores:** dispositivos esenciales que protegen el motor contra sobrecargas o cortocircuitos, evitando daños que puedan comprometer su operación.
- **Relés auxiliares:** permiten la ampliación de las funciones de control, actuando como intermediarios en la lógica del sistema para activar diferentes componentes.
- **Interruptores unipolares y trifásicos:** utilizados para la desconexión manual del sistema cuando sea necesario, como durante el mantenimiento o en situaciones de emergencia.
- **Pulsadores de arranque y parada:** proporcionan la capacidad de operar el sistema manualmente, lo que resulta útil durante pruebas o intervenciones específicas.
- **Variador de frecuencia:** regula la velocidad del motor, adaptándose a las necesidades del sistema en función de los niveles de contaminantes detectados por los sensores.

Estos equipos, cuidadosamente seleccionados, permiten una integración eficiente entre los circuitos de control y de fuerza, garantizando tanto la seguridad del sistema como su capacidad para operar de manera continua y confiable.

Esquemas y planos del sistema

Los esquemas y planos eléctricos detallan cada aspecto del diseño del sistema, incluyendo:

- La disposición de los contactores, guardamotores y demás componentes eléctricos.
- La secuencia lógica del arranque automático en función de las señales recibidas de los sensores.
- La interconexión entre los circuitos de fuerza y control, asegurando una operación sincronizada entre los diferentes niveles.

Estos documentos técnicos son fundamentales para la instalación y mantenimiento del sistema, ya que ofrecen una guía visual detallada para comprender su estructura y funcionamiento.

El sistema de control y potencia propuesto es una solución integral que combina automatización, seguridad y eficiencia. Al activarse únicamente cuando los sensores detectan niveles críticos de monóxido de carbono o humo, garantiza una operación optimizada y reduce riesgos tanto para las personas como para la infraestructura del estacionamiento. Su diseño modular, replicable en todos los niveles, asegura una implementación estandarizada y efectiva en todo el sistema de extracción de contaminantes.



CAPÍTULO 3

PRESUPUESTO DEL PROYECTO

En el presente capítulo se explicará el costo total para el diseño del sistema de ventilación para los estacionamientos subterráneos. Este presupuesto abarca los costos de ingeniería y operación, costo de equipos y dispositivos, materiales para la fabricación de ductos y sistema eléctrico y demás elementos que se utilizan para el diseño de este proyecto.

3.1.1. Costo de ingeniería y recursos humanos

El costo de ingeniería se refiere al pago destinado al equipo de ingenieros responsables de desarrollar las actividades relacionadas con el diseño y planificación técnica del proyecto. Esto incluye, entre otras tareas, la elaboración del sistema de ventilación diseñado específicamente para los estacionamientos subterráneos, lo cual implica un análisis detallado de las necesidades de ventilación en función del tamaño, uso y condiciones específicas de cada área del estacionamiento. Además, abarca la creación de los planos del proyecto, los cuales son fundamentales para la ejecución precisa y segura de las obras, ya que estos contienen la información técnica necesaria para guiar a los equipos de trabajo.

Por otra parte, el costo de recursos humanos está asociado al personal que desempeñará roles clave en la ejecución de la obra. Este rubro considera a individuos que ocupan cargos esenciales, tales como el supervisor de obra, quien se encarga de garantizar que todas las actividades se desarrollen según el plan establecido, respetando tanto los cronogramas como los estándares de calidad definidos. También incluye al encargado de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente, cuya función principal es velar por que se cumplan todas las normativas legales y procedimientos internos en materia de prevención de riesgos laborales, protección ambiental y bienestar del personal.

Estos costos deben ser analizados minuciosamente para asegurar que el proyecto cuente con los recursos humanos y técnicos necesarios sin exceder el presupuesto establecido. En este sentido, es fundamental considerar no solo los salarios por hora del equipo de trabajo de ingeniería, sino también los honorarios del personal operativo y administrativo involucrado. La integración de estos factores garantiza una planificación financiera precisa que minimice riesgos y optimice la asignación de recursos.

En la tabla 3.1, se presenta un desglose detallado que incluye el costo por hora del equipo de ingenieros y el costo total del servicio de ingeniería requerido para el desarrollo del proyecto.

Esta tabla constituye una herramienta clave para evaluar la viabilidad financiera del proyecto y permite realizar ajustes necesarios en caso de que los costos superen las expectativas iniciales.

Tabla 3.1 Costo total de ingeniería por el diseño del sistema de ventilación

Equipo de trabajo	Costo por hora (US\$/h)	Horas de trabajo	Costo total (US\$)
Dibujante	5	40	200
Ingeniero junior	7	500	3,500
Ingeniero senior	20	30	600
Supervisor de seguridad	5	576	2,880
Supervisor de obra	10	576	5,760
Costo total de ingeniería			12,940

3.2. Costos de equipos y materiales

En la tabla 3.2 se muestra los costos de los equipos y dispositivos seleccionados en el capítulo anterior.

Tabla 3.2 Costo total de equipos y dispositivos del sistema de ventilación

Ítem	Equipos	Descripción	Cantidad	Costo unitario (US\$)	Costo total (US\$)
1	Jet Fan	Marca: Soler & Palau. Modelo: centrífugo no tubular IFTH-4-50N	39	1900	74,100
2	Inyector axial	Marca: Soler & Palau. Modelo: AVR-710	12	1800	21,600
3	Extractor de flujo mixto	Marca: Greenheck. Modelo: QEI-SERIES 2	2	16500	33,000
4	Sensor de nivel de monóxido	Marca: Optimal Controls. Modelo: COS-231M-RL-220	46	450	20,700
5	Damper de gravedad	Dimensión: 40"x40"	12	0.22	4224
6	Damper cortafuego	Dimensión: 44"x100"	4	0.4	7,040
9	Rejilla de inyección de aire	Dimensión: 80"x38"	10	0.14	4,256
10	Rejilla de inyección de aire	Dimensión: 96"x32"	1	0.14	430.08
11	Rejilla de inyección de aire	Dimensión: 40"x40"	1	0.14	224
Valor de venta					165,574.08
I.G.V (18%)					29,803.33
Costo total de equipos y dispositivos					195,377.41

A continuación, en la tabla 3.3 se presenta los materiales que se van a utilizar para la fabricación del sistema de ductos.

Tabla 3.3 Costo total de materiales para fabricación de sistema de ductos

ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario (US\$)	Costo total (US\$)
1	Malla electrosoldada metálica de 44"x100" calibre 12	4	0.04	704
2	Malla electrosoldada metálica de 52"x52" calibre 12	2	0.04	216.32
3	Plancha de acero galvanizado de 2.4 m x 1.2 m según ASTM A6530. Recubrimiento G-60. Espesor: 0.8 mm	13	28.71	373.23
4	Plancha de acero galvanizado de 2.4 m x 1.2 m según ASTM A6530. Recubrimiento G-60. Espesor: 1 mm	14	31.71	443.94
5	Plancha de acero galvanizado de 2.4 m x 1.2 m según ASTM A6530. Recubrimiento G-60. Espesor: 1.2 mm	72	34.71	2,499.12
6	Plancha de acero negro de 2.4 m x 1.2 m según ASTM A6530. Espesor: 1.5 mm	81	37.71	3,054.51
7	Tuercas hexagonales de 3/8"	2000	0.01	21.05
8	Arandelas planas de 3/8"	2000	0.01	21.05
9	Perno hexagonal de 3/8" x 1"	200	0.18	36.84
10	tacos de expansión tipo Hilti de 3/8"	50	0.7	35
11	Brocas para metal de 3/8"	20	3.95	78.95
12	Autoperforantes de 8"x3/4"	4000	0.01	50.53
13	Silicona gris	36	2.11	75.79
14	Ángulo de 1/2"x1/2"x1/8" x 6m. Material: ASTM A36	30	18.15	544.5
15	Ángulo de 1/2"x1/2"x3/16" x 6m. Material: ASTM A36	13	21.58	280.53
16	Varillas roscadas de 3/8" de diámetro x 1.8 m	60	1.58	94.74
Valor de venta				8,530.09
I.G.V (18%)				1,535.42
Costo total de materiales para fabricación				10,065.51

En cuanto al costo de los materiales para el sistema eléctrico se utilizarán los materiales indicados en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Costo total para el diseño del sistema eléctrico

item	Descripción	Cantidad	Costo unitario (US\$)	Costo total (US\$)
1	8 metros de cable NH80 150 mm2 marca Indeco	8	29.34	234.72
2	Rollos de cable NH80 25 mm2 marca Indeco	4	475.26	1,901.05
3	Rollos de cable NH80 6 mm2 marca Indeco	4	118.62	474.48
4	Rollos de cable NH80 4 mm2 marca Indeco	30	75.15	2,254.42
5	Rollos de cable NH80 2.5 mm2 marca Indeco	190	53.95	10,250.00
6	Tubería EMT de 3"x3m	1	31.58	31.58
7	Tubería EMT de 1 1/4"x3m	35		0.00
8	Tubería EMT de 1"x3m	2	6.83	13.66
9	Tubería EMT de 3/4"x3m	220	4.64	1,020.68
10	Tubería EMT de 1/2"x3m	50	2.63	131.58
11	Tablero de ventilación. Incluye componentes internos	1	1700.00	1,700.00
12	Tablero de extractor de monóxido principal 1. Incluye componentes internos	1	2678.00	2,678.00
13	Tablero de extractor de monóxido 2. Incluye componentes internos	1	2650.00	2,650.00
14	Subtablero del sótano 1. Incluye componentes internos	1	194.00	194.00
15	Subtablero del sótano2. Incluye componentes internos	1	194.00	194.00
16	Subtablero de sótano 3. Incluye componentes internos	1	194.00	194.00
17	Subtablero del sótano 4. Incluye componentes internos	1	194.00	194.00
18	Subtablero del sótano 5. Incluye componentes internos	1	170.00	170.00
19	Tablero de inyectores. Incluye componentes internos	12	220.00	2,640.00
20	Tablero de Jet Fans. Incluye componentes internos	39	270.00	10,530.00
21	Abrazaderas de riel strut 3"	4	1.42	5.68
22	Abrazaderas de riel strut 1 1/4"	60	0.65	38.84
23	Abrazaderas de riel strut 1"	6	0.54	3.22
24	Abrazaderas de riel strut 3/4"	350	0.43	150.13

Tabla 3.4 Costo total para el diseño del sistema eléctrico (continuación)

ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario (US\$)	Costo total (US\$)
25	Abrazaderas de riel strut 1/2"	100	0.26	25.79
26	Riel strut grueso 2.2 m	20	4.74	94.74
27	Uniones para tubo EMT 3"	5	4.10	20.49
28	Uniones para tubo EMT 1 1/4"	100	0.61	61.32
29	Uniones para tubo EMT 1"	10	0.32	3.21
30	Uniones para tubo EMT 3/4"	400	0.25	100.00
31	Uniones para tubo EMT 1/2"	100	0.19	19.47
32	Conectores de tubo EMT 3"	2	5.25	10.50
33	Conectores de tubo EMT 1 1/4"	10	0.68	6.84
34	Conectores de tubo EMT 1"	4	0.39	1.57
35	Conectores de tubo EMT 3/4"	140	0.28	39.79
36	Conectores de tubo EMT 1/2"	40	0.22	8.63
37	Cajas de pase	60	7	420
Valor de venta				38,466.40
I.G.V (18%)				6,923.95
Costo total del sistema eléctrico				45,390.36

3.3. Costos de instalación

El costo de la instalación del sistema de extracción de monóxido y humos se tomará en base a la cantidad de técnicos y a la tabla salarial semanal según el régimen de construcción civil. A continuación, la tabla 3.5 muestra la tarifa salarial semanal según el régimen de construcción civil 2024.

Tabla 3.5 tabla de salarios para el régimen de construcción civil (*)

Descripción	Costo por semana (\$/48h)
Operario	216
Oficial	170
Peón	155

(*) tomado de "Tabla de salarios y beneficios sociales para el régimen de construcción civil", (Federación de trabajadores de construcción civil 2023:1)

Para la ejecución del proyecto se consideró 3 meses de trabajo. Se tendrán 3 grupos de trabajo:

- El primer grupo consiste en 4 personas (2 operarios y 2 oficiales) los cuales se encargarán en la fabricación de los ductos, rejillas y bandejas eléctricas. Estos se encontrarán en el taller de la empresa fuera de obra.
- El segundo grupo consiste en 4 personas (2 operarios y 2 oficiales) los cuales se encargarán de la instalación de toda la parte eléctrica del proyecto.

- El tercer grupo consiste en 4 personas (2 operarios y 2 oficiales) los cuales se encargarán de la instalación de ductos, equipos y rejillas.

En la tabla 3.6 se muestra el costo de mano de obra para la instalación total del proyecto.

Tabla 3.6 Costo de instalación

Item	Descripción	Horas de trabajo	Costo por hora(\$/h)	Costo total (US\$)
1	Mano de obra de personal de fabricación (taller). 2 operarios y 2 oficiales	576	16.08	9,264
2	Mano de obra de personal de instalación (obra). 4 operarios y 4 oficiales	576	32.17	18,528
3	Transporte	GLB	GLB	1,000
Costo total de instalación				28,792

El costo total del proyecto se presenta en la siguiente tabla 3.7:

Tabla 3.7 Costo total de instalación del proyecto

Item	Costos de proyecto	Costo total (US\$)
1	Costo de ingeniería y recursos humanos	12,940
2	Costo total de equipos y dispositivos	195,377.41
3	Costo total de materiales para fabricación	10,065.51
4	Costo total del sistema eléctrico	45,390.36
5	Costo total de instalación	28,792
Costo total del proyecto		292,565

En la tabla 3.7 se observa que el costo de ingeniería y recursos humanos es 4% del total del proyecto. El costo de equipos y dispositivos es el 67%, el costo de materiales para fabricación representa un 3% del costo total, el costo del sistema eléctrico representa el 16% y, por último, el costo de instalación es de 10%. El costo total del proyecto es de 292,565 dólares.

CONCLUSIONES

1. Se ha proyectado un sistema de ventilación mixta, que consta de un sistema de inyección de aire fresco y un sistema de extracción de monóxido y humos. Este sistema tiene como objetivo lograr una distribución óptima del aire en el interior de los estacionamientos, abarcando toda el área de los 5 niveles de sótanos. El sistema de ventilación se activa cuando el nivel de monóxido de carbono en el ambiente supere los 35 partes por millón, conforme a la norma ASHRAE, garantizando así la calidad de aire y el bienestar de las personas dentro del sótano, o en caso de que se produzca un incendio en uno de los niveles.
2. Se realizó el cálculo del caudal de monóxido de acuerdo con tres métodos considerando las renovaciones de aire, caudal por unidad de área y método ASHRAE. Se ha proyectado que el método de caudal de diseño seleccionado es de renovaciones de aire ya que se obtuvo un mayor caudal por sótano, Para este método se consideró 5 renovaciones por hora de acuerdo con la norma EM.030.
3. Se ha proyectado un sistema de ventilación independiente por sótano para que no sea necesario, al momento de ocurrir un incendio en un nivel o un incremento de monóxido en un nivel, que se activen los equipos de todos los sótanos si no solo el del piso afectado. Esto permite un ahorro de energía y que en caso ocurriese un incendio, no se expanda los humos hacia otros sótanos.
4. Se ha proyectado que para que exista una eficiente ventilación en los sótanos, el caudal de extracción de monóxido en estos niveles es de 9.77, 6.66, 6.88 y 7.60 m³/s respectivamente. Además, para mantener libres las vías de evacuación de personas, proteger la estructura del edificio y facilitar el acceso de los equipos anti-incendio en caso de un incendio de un nivel, el caudal de extracción de humos de incendio es de 17.46 m³/s.
5. En caso de producirse un incendio, se ha proyectado que el sistema de gestión BMS del edificio actuará en el nivel del incendio, y deberá mantener prendido los inyectores de aire fresco, así como los Jet Fans correspondientes a ese nivel, deberá abrirse el dámper motorizado de la rejilla del sótano donde ocurre el incendio y los otros sótanos cerrarán el dámper motorizado de la rejilla de extracción. Además, el sistema de control central del edificio deberá activar los extractores e inyectores de aire en un horario establecido por el operador del estacionamiento, incluso cuando no haya una concentración excesiva de CO. Esto tiene como finalidad renovar el aire en los estacionamientos.

6. Se ha proyectado que el costo total del proyecto es de 292,565 dólares. El costo de ingeniería y operaciones representa el 4% del total del proyecto. El costo de equipos y dispositivos es de 67%, materiales para fabricación es de 3%, sistema eléctrico es de 16% y el costo de instalación es de 10%.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS

- 2021 *ASHRAE Handbook: Fundamentals*. Atlanta.
- 2019 *ASHRAE Handbook: HVAC applications*. Atlanta.
- 2016 *ventilación para una calidad adecuada de aire interior: Estándar ANSI/ASHRAE 62.1-2016*. Atlanta.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN

- 2017 *UNE 23585:2017*. Seguridad contra incendios. Madrid, diciembre 2017.

AIRSUM

- 2014 *Antivibradores de muelle*. Consulta: 28 de junio de 2021
<http://www.airsum.es/catalogo/ES/13_Antivibradores_de_muelle/documentos/Antivibradores%20de%20muelle.pdf>

ANAYA, Alejandro

- 2014 “Evaluación de ecuaciones de factor de fricción explícito en tuberías”. *Scielo org*, pp 128-134. Consulta 13 de enero de 2023
<<https://www.scielo.org.mx/pdf/eq/v25n2/v25n2a7.pdf>>

ABB

- 2016 *Control y protección de motores, contactores, relés y guardamotores*. Consulta: 20 de enero de 2023.
<https://library.e.abb.com/public/b6bc1de77b724622a9f79af5044f2b30/1_SBC100197C0702%20Catalogo_resumido_control_y_proteccion_de_motores_ES.pdf>
- 2021 *Convertidores de frecuencia ABB de propósito general*. Consulta: 12 de febrero de 2023.
<https://library.e.abb.com/public/f9e22a40675a49c39619934839a8b652/ACS480_general_purpose_drives_catalog_3AUA0000230792_RevE_ES.pdf>

BRITISH STANDARDS INSTITUTION

- 2006 *BS 7346-7 Components for smoke and heat control systems. Code of practice on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat control systems for covered car parks*. London: BSI

CARRIER

- 1980 *manual de aire acondicionado. 5ta reimpression.* Barcelona: McGRAW-HILL
<[https://www.academia.edu/44449100/Carrier Manual de Aire Acondicionado](https://www.academia.edu/44449100/Carrier_Manual_de_Aire_Acondicionado)>
- FEDERACIÓN DE TRABAJADORES DE CONSTRUCCIÓN CIVIL DEL PERÚ
- 2023 *Tabla de salarios y beneficios sociales para el régimen de construcción civil.* Consulta: 20 de julio de 2024
<<https://www.ftccperu.com/images/TABLAS%20SALARIALES%20PDF/Tabela%20salarial%20%202023-2024.pdf>>
- GREENHECK
- 2020 *Mixed Flow fans models QEI, QEID.* Consulta: 04 de junio de 2021
<[https://content.greenheck.com/public/DAMProd/Original/10011/QEI QEID catalog.pdf](https://content.greenheck.com/public/DAMProd/Original/10011/QEI_QEID_catalog.pdf)>
- INDECO
- 2021 *Freetox NH-80.* Consulta: 25 de abril de 2023
<<https://www.promelsa.com.pe/media/PDF/1000405-01.pdf>>
- KRARTI, Monkey y AYARI, Arselene
- 2001 *Ventilation for Enclosed Parking Garages.* ASHRAE Journal. 2001, 52-55. Consulta: 04 de mayo de 2021.
<https://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_13671.pdf>
- LOGEN
- Control de sistemas de ventilación en estacionamientos.* Consulta: 6 de noviembre de 2020
<<http://www.logen.com.mx/noticias/control-de-sistemas-de-ventilacion-en-estacionamientos>>
- LOREN COOK COMPANY
- 2015 *Engineering Cookbook.* Tercera edición. Springfield: Loren Cook company.
- MAPFRE
- 1999 *los sistemas de ventilación utilizados en el ámbito de la higiene industrial.* Consulta: 10 de septiembre de 2020
<https://app.mapfre.com/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/imagen_id.cmd?idImagen=1035820>

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS

2006 *Código Nacional de Electricidad: Utilización*. Lima: MINEN.
 <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/898623/Código_Nacional_de_Electricidad_Utilización_.pdf>

MUNDO HVAC

Ventilación en estacionamientos. Consulta: 8 de noviembre de 2020
 <<https://www.mundohvacr.com.mx/2014/06/ventilacion-en-estacionamientos/>>

MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA

2020 *Norma EM.030*. Norma de instalaciones de ventilación. Lima, 5 de julio.
 Consulta: 08 de octubre de 2020
 <<https://ww3.vivienda.gob.pe/DGPRVU/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20III%20Edificaciones/63%20EM.030%20INSTALACIONES%20DE%20VENTILACION%20TILACI%C3%93N.pdf>>

MURCIA SALUD

Efectos de monóxido de carbono a diferentes concentraciones. Consulta 20 de diciembre de 2022
 <<https://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180398#>>

OPTIMAL CONTROLS

2021 *Sensor de monóxido de carbono en estacionamientos*. Consulta: 15 de mayo de 2022
 < <http://optimalcontrols.pe/cos-231m/>>

2021 *Controlador de sistemas de monóxido de carbono en estacionamientos*.
 Consulta: 15 de mayo de 2022
 <<http://optimalcontrols.pe/wp-content/uploads/2021/04/CO-40-MOD-v4.1.pdf>>

SALVADOR ESCODA S.A

1998 *manual práctico de ventilación*. 2° Edición
 Barcelona: Salvador Escoda S.A

SOLER&PALAU (S&P)

2012 *Manual práctico de ventilación Soler&Palau*. Consulta: 8 de septiembre de 2020

- <<https://estaticos.qdq.com/swdata/files/962/962354527/Manual-Ventilacion-Completo---SP.pdf>>
- 2021 *Ventiladores Centrifugos de impulso Jet Fan*. Consulta: 02 de junio de 2021
- <<https://www.solerpalau.mx/ASW/recursos/prod/catalogo%20ifft%20ifft%20s&p%20may%202021.pdf>>
- 2020 *Catálogo general*. Consulta: 23 de junio de 2021
- <<https://www.solerpalau.mx/ASW/recursos/cata/General.pdf>>
- SCHNEIDER ELECTRIC
- 2009 *Arranque y protección de motores de CA*. Consulta: 25 de junio de 2021
- <<https://www.electrivicaplicada.com/wp-content/uploads/2020/10/arranque-y-proteccion-de-motores-AC.pdf>>
- 2023 *Interruptor termomagnético C120 N 3P 100^a 10kA*. Consulta: 14 de abril de 2023
- <<https://www.se.com/pe/es/product/A9N18367/interruptor-termomagnético-riel-din-acti9-c120n-3p-100-a-curva-c-10ka-iec-608981-10-ka-iec-609472/>>
- SHEET METAL AND AIR CONDITIONING CONTRACTORS' NATIONAL ASSOCIATION
- 2005 *HVAC duct construction standards metal and flexible*. Tercera edición. Chantilly: SMACNA. Consulta: 12 de febrero de 2023
- <<https://1filedownload.com/smacna-2005-3rd-edition-hvac-duct-construction-standards-metal-and-flexible-api-asmeworkbook/>>
- TORRES, Mario
- 2014 diseño de un sistema de ventilación para estacionamiento subterráneo de tres niveles. Lima. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico. Facultad de ciencias e ingeniería. Consulta: 4 de noviembre de 2020
- <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5998/TORRE_MARIO_DISE%c3%91O_SISTEMA_VENTILACION_ESTACIONAMIENTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- VARGAS-MACHUCA, Federico
- 1990 máquinas eléctricas rotativas. 1° Edición: Megaprint Ediciones S.A

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA ESTACIONAMIENTO
SUBTERRÁNEO DE CINCO NIVELES CON EXTENSIÓN DE 6850 M²
PLANOS Y ESQUEMAS**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico

AUTOR:

Jorge Javier Herrera Prado

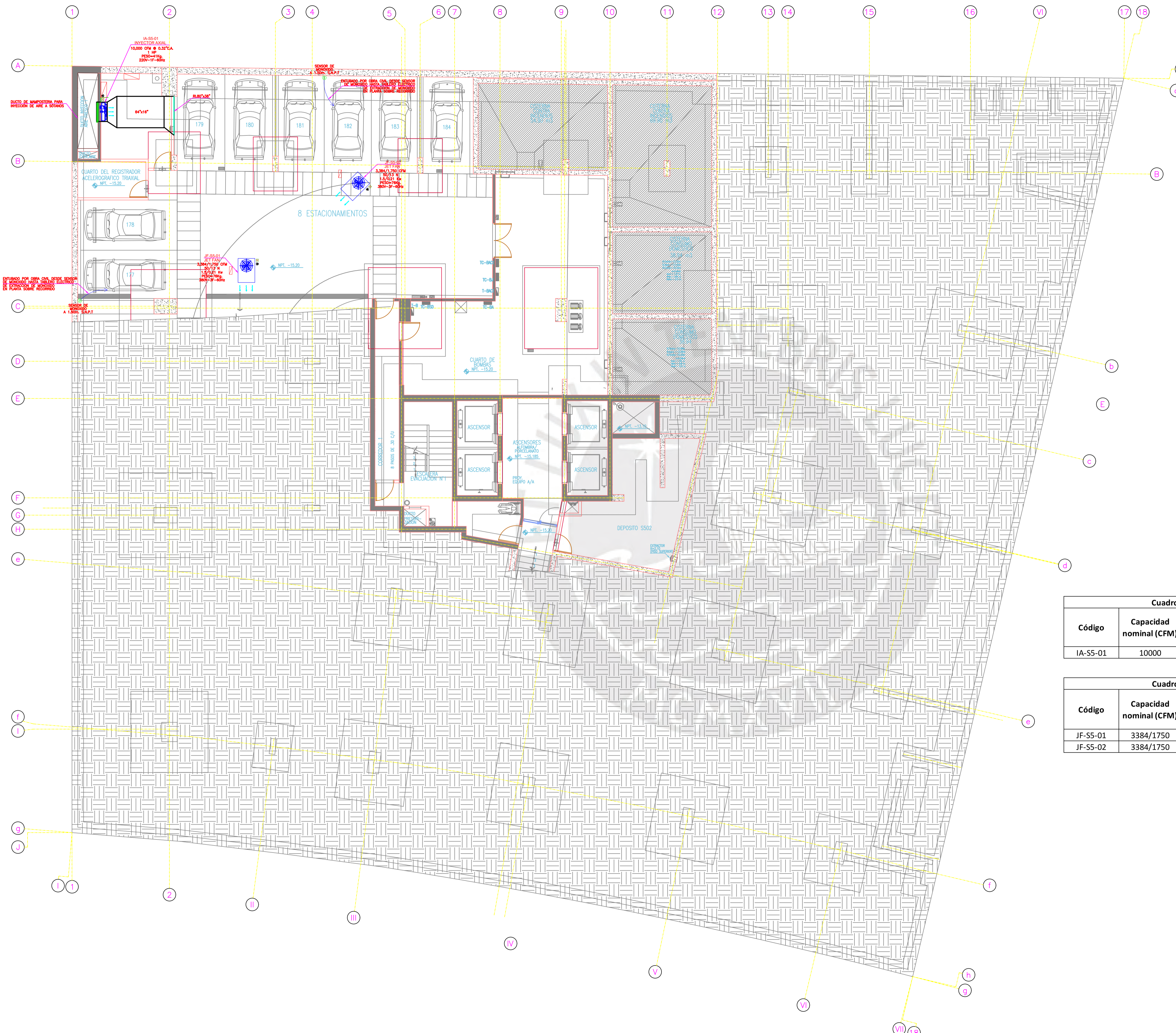
ASESOR:

Enrique José Barrantes Peña

Lima, noviembre 2024

ÍNDICE

Vista planta - sótano 5.....	1
Vista planta - sótano 4.....	2
Vista planta - sótano 3.....	3
Vista planta - sótano 2.....	4
Vista planta - sótano 1.....	5
Vista planta – sobre recorrido (piso 9)	6
Vista lateral A-A damper cortafuego	7
Vista lateral B-B inyector axial.....	8
Vista lateral C-C extractor de humos y monóxido.....	9
Vista lateral D-D extractor de humos y monóxido.....	10
Diagrama unifilar.....	11
Diagrama de conexión de damper cortafuegos sótano 1.....	12
Diagrama de conexión de damper cortafuegos de sótanos 2,3,4 y 5.....	13
Diagrama de fuerza y control de extractores de humos y monóxido.....	14
Diagrama de fuerza y control de inyectores axiales.....	15
Diagrama de fuerza y control de jet fans.....	16



Cuadro de ventiladores - inyectores de aire fresco sótano 5					
Código	Capacidad nominal (CFM)	Tipo	Caída de presión (in.c.a)	Potencia (HP)	Electricidad (V-F-Hz)
IA-S5-01	10000	axial	0.3	1	220V-1F-60Hz

Cuadro de ventiladores - jet fan alta temperatura sótano 5					
Código	Capacidad nominal (CFM)	Tipo	Empuje (N)	Potencia (kW)	Electricidad (V-F-Hz)
JF-S5-01	3384/1750	Centrífugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S5-02	3384/1750	Centrífugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA

METODO DE PROYECCION 	SISTEMA DE VENTILACION PARA ESTACIONAMIENTO SUBTERRANEO DE 5 NIVELES CON EXTENSION DE 6850m2	ESCALA 1:100
ELABORADO POR HERRERA PRADO JORGE JAVIER	FECHA: 2023.04.24	LAMINA: A1

VISTA PLANTA – SÓTANO 5



Cuadro de ventiladores - inyectores de aire fresco sótano 4

Código	Capacidad nominal (CFM)	Tipo	Caída de presión (in.c.a)	Potencia (HP)	Electricidad (V-F-Hz)
IA-S4-01	10000	Axial	0.3	1	220V-1F-60Hz
IA-S4-02	10000	Axial	0.3	1	220V-1F-60Hz
IA-S4-03	10000	Axial	0.3	1	220V-1F-60Hz

Cuadro de ventiladores - jet fan alta temperatura sótano 4

Código	Capacidad nominal (CFM)	Tipo	Empuje (N)	Potencia (kW)	Electricidad (V-F-Hz)
JF-S4-01	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S4-02	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S4-03	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S4-04	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S4-05	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S4-06	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S4-07	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S4-08	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S4-09	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S4-10	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA

METODO DE PROYECCION: SISTEMA DE VENTILACION PARA ESTACIONAMIENTO SUBTERRANEO DE 5 NIVELES CON EXTENSION DE 6850m2 ESCALA: **1:100**

ELABORADO POR: **HERRERA PRADO JORGE JAVIER** FECHA: **2023.04.24**

LAMINA: **A1**



Cuadro de ventiladores - inyectores de aire fresco sótano 3

Código	Capacidad nominal (CFM)	Tipo	Caída de presión (in.c.a)	Potencia (HP)	Electricidad (V-F-Hz)
IA-S3-01	10000	Axial	0.3	1	220V-1F-60Hz
IA-S3-02	10000	Axial	0.3	1	220V-1F-60Hz
IA-S3-03	10000	Axial	0.3	1	220V-1F-60Hz

Cuadro de ventiladores - jet fan alta temperatura sótano 3

Código	Capacidad nominal (CFM)	Tipo	Empuje (N)	Potencia (kW)	Electricidad (V-F-Hz)
JF-S3-01	3384/1750	Centrífugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S3-02	3384/1750	Centrífugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S3-03	3384/1750	Centrífugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S3-04	3384/1750	Centrífugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S3-05	3384/1750	Centrífugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S3-06	3384/1750	Centrífugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S3-07	3384/1750	Centrífugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S3-08	3384/1750	Centrífugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S3-09	3384/1750	Centrífugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S3-10	3384/1750	Centrífugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA

METODO DE PROYECCION: SISTEMA DE VENTILACION PARA ESTACIONAMIENTO SUBTERRANEO DE 5 NIVELES CON EXTENSION DE 6850m2 ESCALA: **1:100**

ELABORADO POR: **HERRERA PRADO JORGE JAVIER** FECHA: **2023.04.24**

LAMINA: **A1**



Cuadro de ventiladores - inyectores de aire fresco sótano 2

Código	Capacidad nominal (CFM)	Tipo	Caída de presión (in.c.a)	Potencia (HP)	Electricidad (V-F-Hz)
IA-S2-01	10000	Axial	0.3	1	220V-1F-60Hz
IA-S2-02	10000	Axial	0.3	1	220V-1F-60Hz
IA-S2-03	10000	Axial	0.3	1	220V-1F-60Hz

Cuadro de ventiladores - jet fan alta temperatura sótano 2

Código	Capacidad nominal (CFM)	Tipo	Empuje (N)	Potencia (kW)	Electricidad (V-F-Hz)
JF-S2-01	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S2-02	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S2-03	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S2-04	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S2-05	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S2-06	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S2-07	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S2-08	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S2-09	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S2-10	3384/1750	Centrifugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA

METODO DE PROYECCION: SISTEMA DE VENTILACION PARA ESTACIONAMIENTO SUBTERRANEO DE 5 NIVELES CON EXTENSION DE 6850m2 ESCALA: 1:100

ELABORADO POR: HERRERA PRADO JORGE JAVIER FECHA: 2023.04.24

LAMINA: A1



Cuadro de ventiladores - inyectores de aire fresco sótano 1

Código	Capacidad nominal (CFM)	Tipo	Caída de presión (in.c.a)	Potencia (HP)	Electricidad (V-F-Hz)
IA-S1-01	10000	Axial	0.3	1	220V-1F-60Hz
IA-S1-02	10000	Axial	0.3	1	220V-1F-60Hz

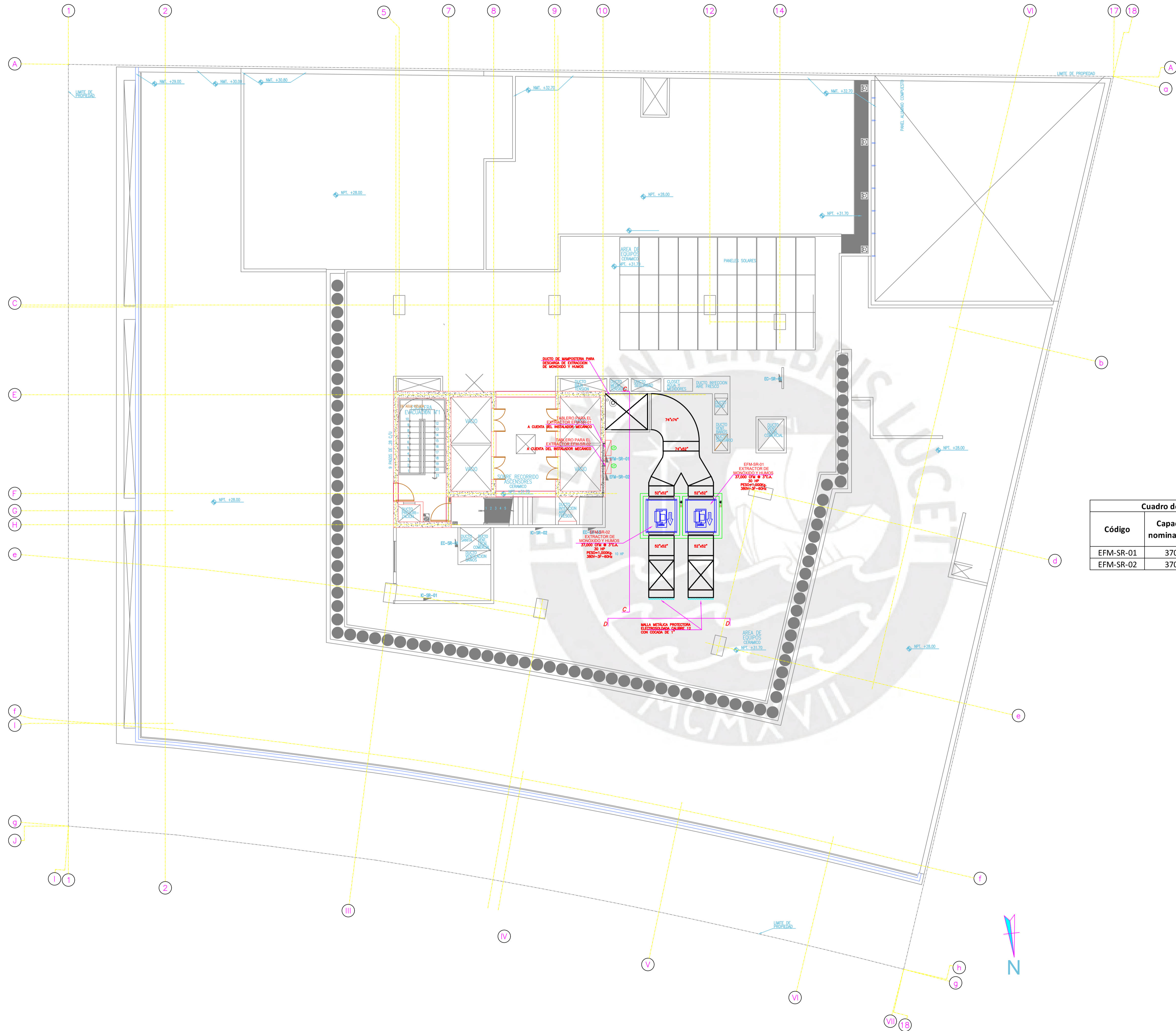
Cuadro de ventiladores - jet fan alta temperatura sótano 1

Código	Capacidad nominal (CFM)	Tipo	Empuje (N)	Potencia (kW)	Electricidad (V-F-Hz)
JF-S1-01	3384/1750	Centrífugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S1-02	3384/1750	Centrífugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S1-03	3384/1750	Centrífugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S1-04	3384/1750	Centrífugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S1-05	3384/1750	Centrífugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S1-06	3384/1750	Centrífugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz
JF-S1-07	3384/1750	Centrífugo de impulso	50/13	1.5/0.21	380V-3F-60Hz

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA
 METODO DE PROYECCION: SISTEMA DE VENTILACION PARA ESTACIONAMIENTO SUBTERRANEO DE 5 NIVELES CON EXTENSION DE 6850m2 ESCALA:


VISTA PLANTA – SÓTANO 1 1:100

ELABORADO POR: **HERRERA PRADO JORGE JAVIER** FECHA: **2023.04.24**
 LAMINA: **A1**

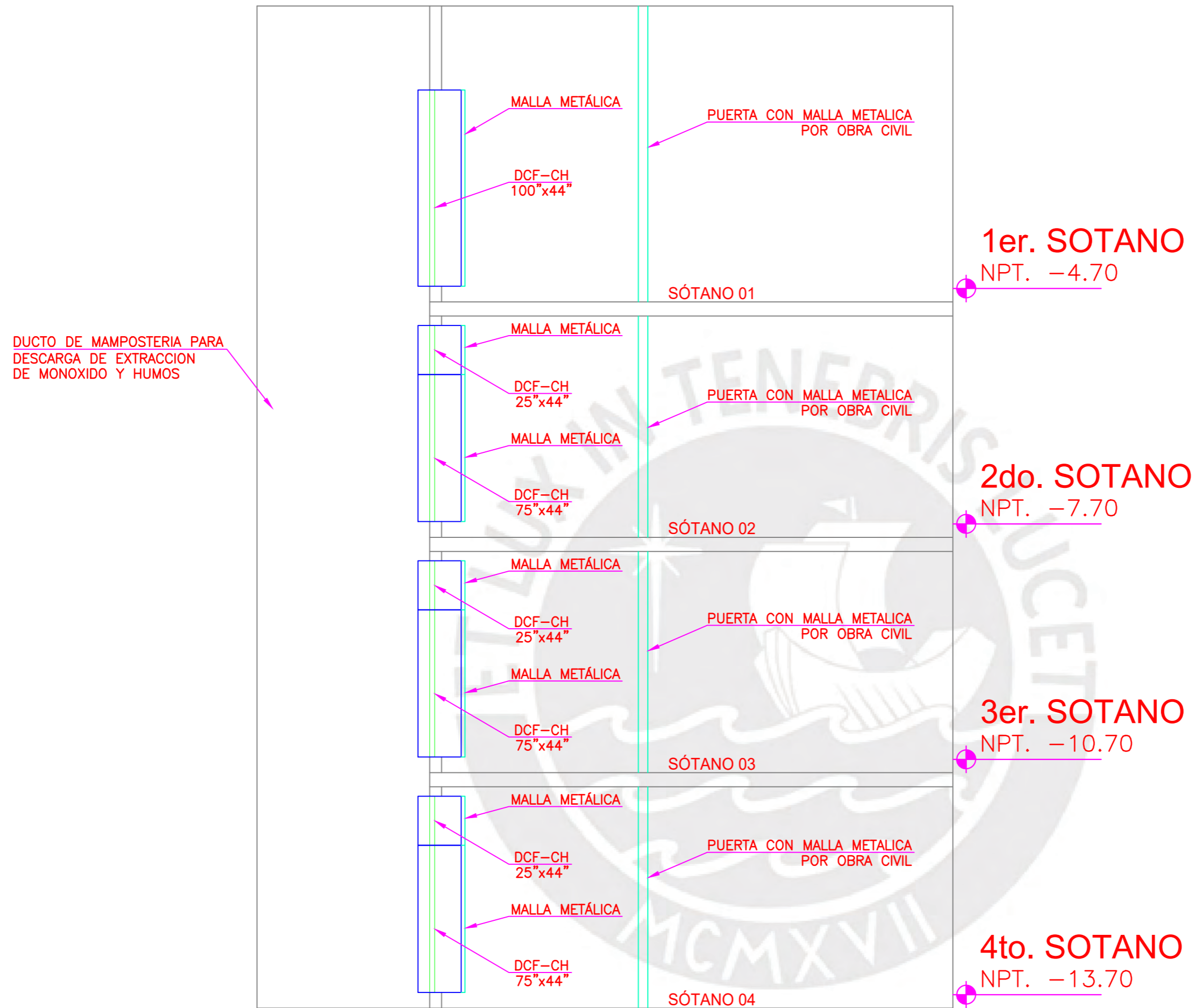


Cuadro de ventiladores - Extractores de monóxido y humos - alta temperatura

Código	Capacidad nominal (CFM)	Tipo	Caída de presión (in.c.a)	Potencia (HP)	Electricidad (V-F-Hz)
EFM-SR-01	37000	Flujo mixto	3	30	380V-3F-60Hz
EFM-SR-02	37000	Flujo mixto	3	30	380V-3F-60Hz

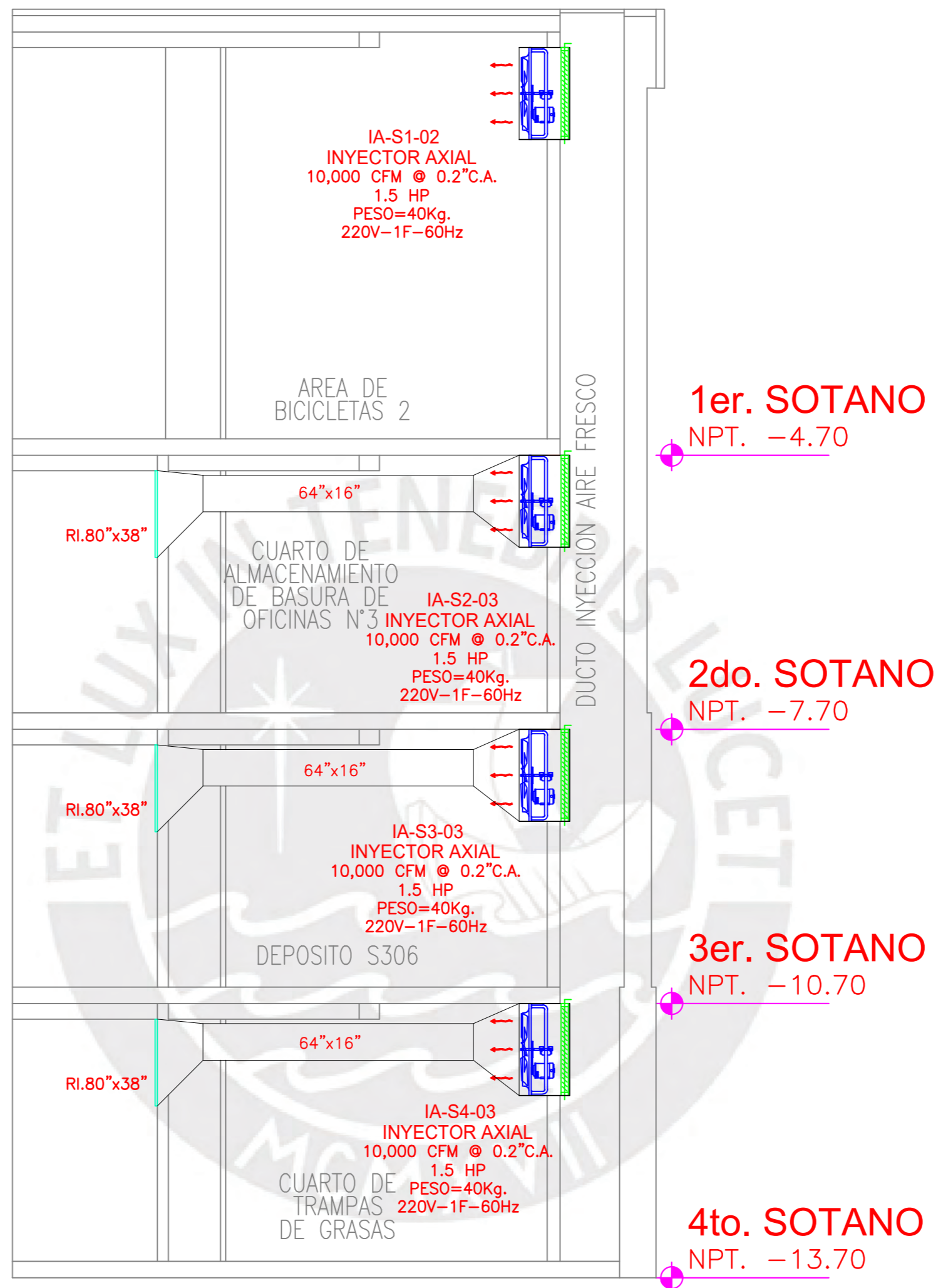
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA

METODO DE PROYECCION	SISTEMA DE VENTILACION PARA ESTACIONAMIENTO SUBTERRANEO DE 5 NIVELES CON EXTENSION DE 6850m ²	ESCALA
	SOBRERECORRIDO - VISTA PLANTA	1:100
ELABORADO POR	HERRERA PRADO JORGE JAVIER	FECHA: 2023.04.24
		LAMINA: A1



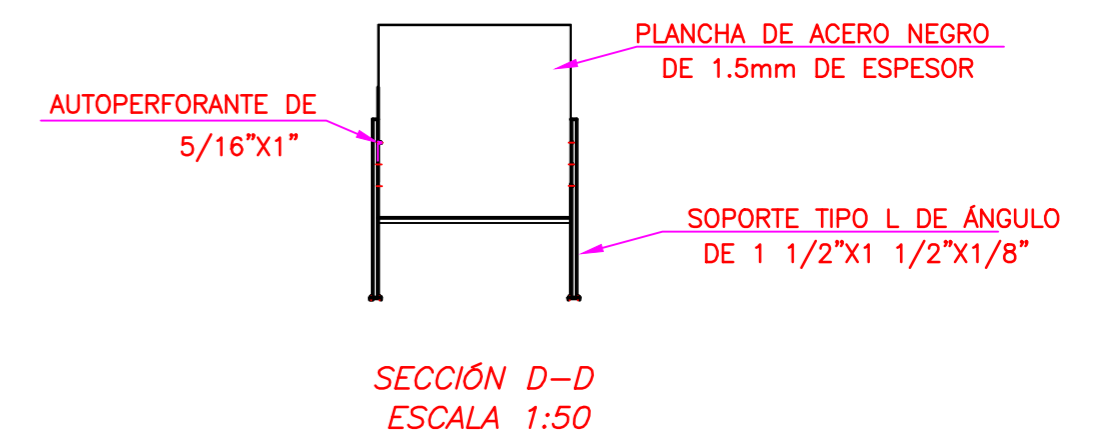
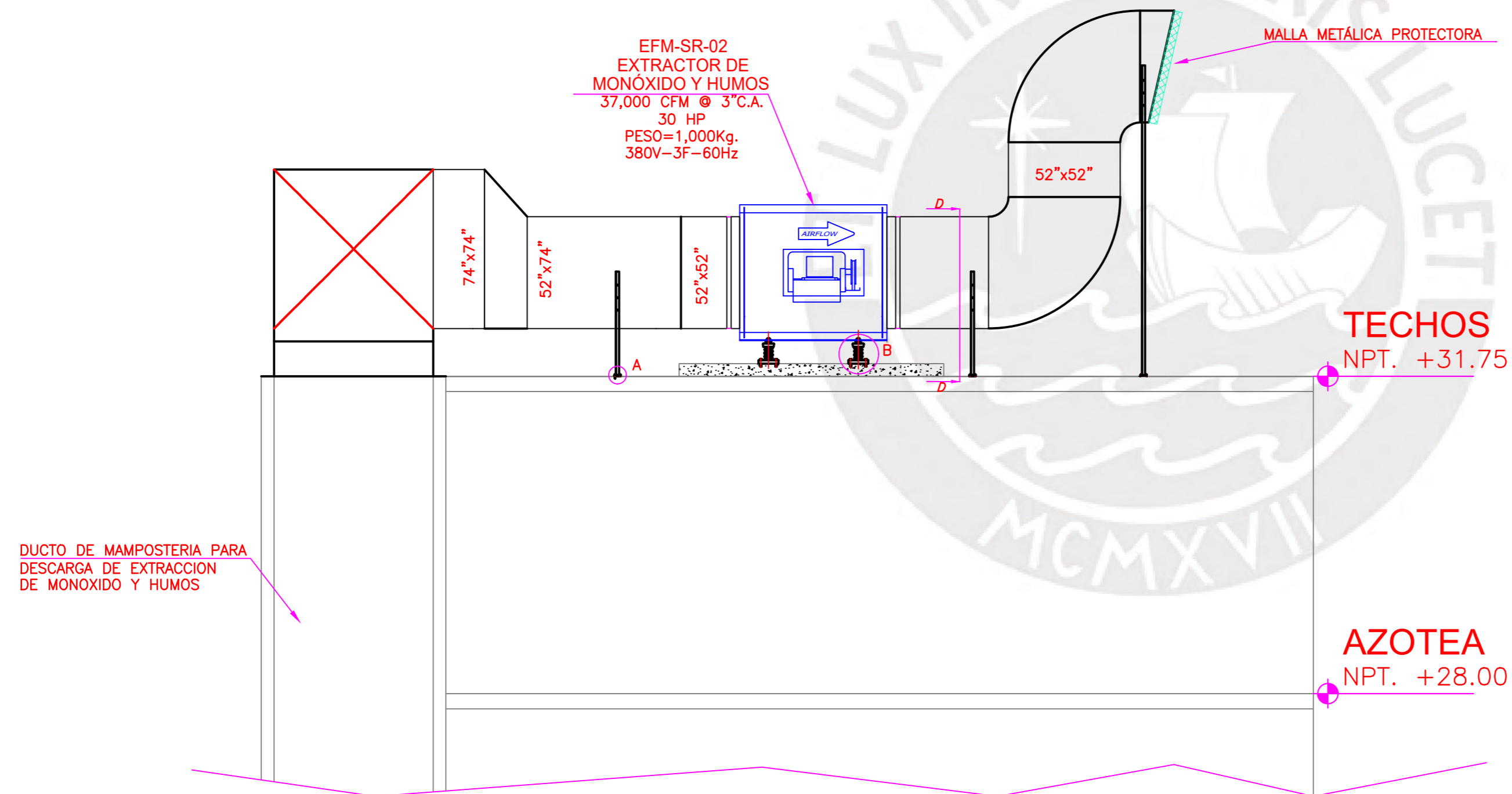
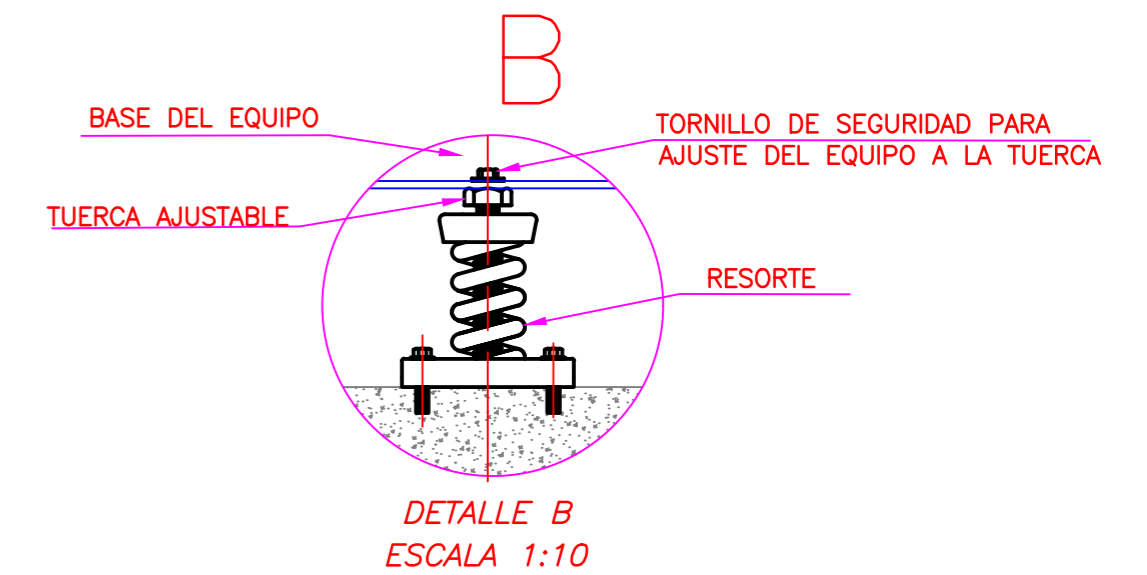
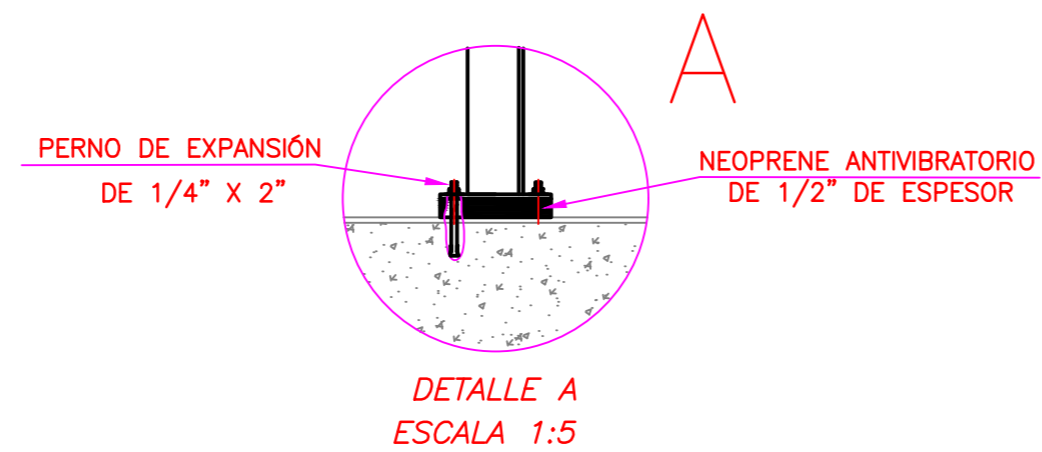
SECCIÓN A-A VISTA DE DAMPER CORTAFUEGOS EN MONTANTE DE EXTRACCIÓN DE MONÓXIDO Y HUMOS DE INCENDIO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCION	PROYECTO	ESCALA
	A-A VISTA LATERAL DAMPER	1:50
ELABORADO POR	HERRERA PRADO JORGE JAVIER	FECHA: 2023.04.19
		LAMINA: A2



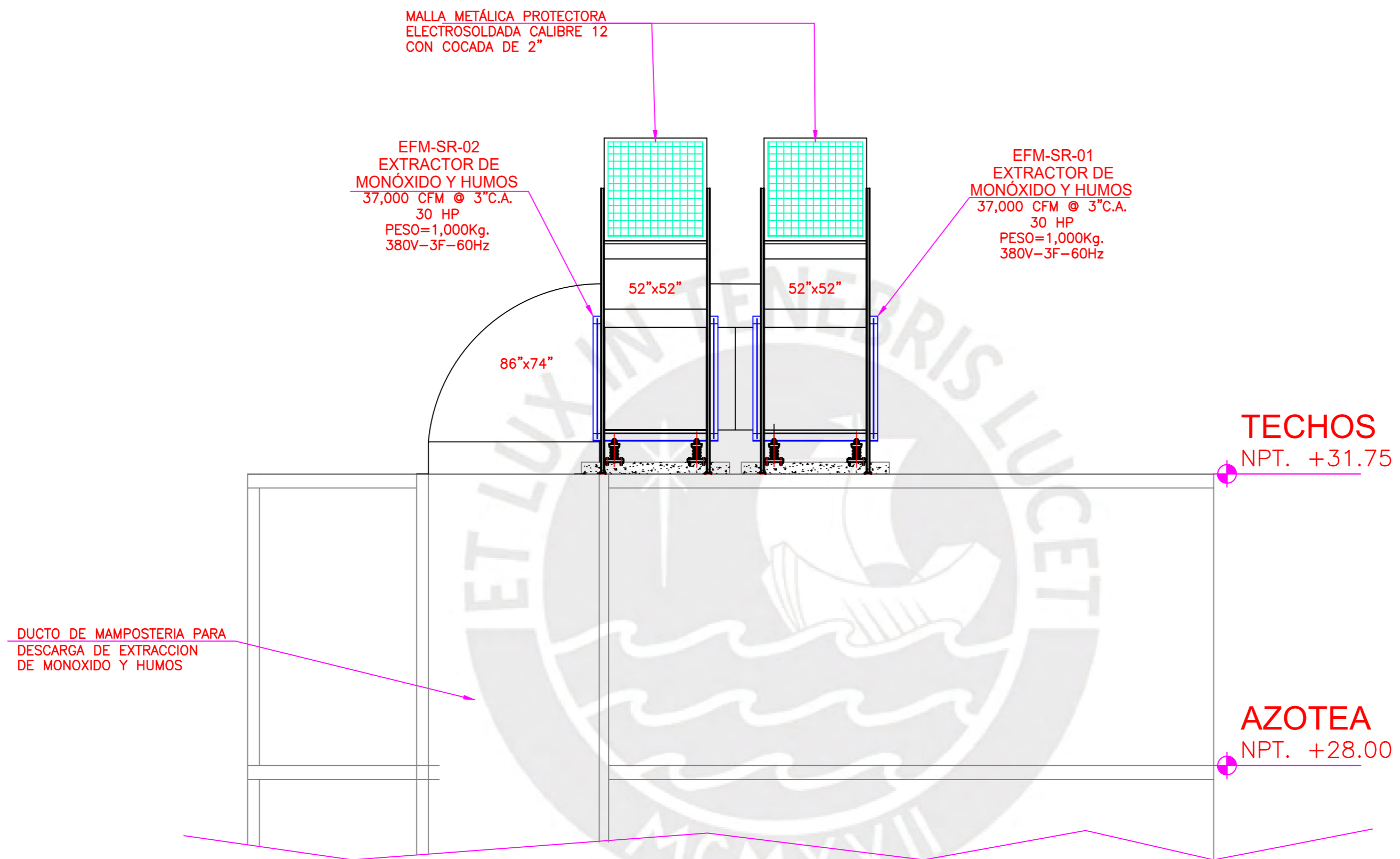
SECCIÓN B-B VISTA DE EQUIPOS INYECTORES AXIALES PARA VENTILACIÓN DE MONÓXIDO Y HUMOS DE INCENDIO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCION	PROYECTO	ESCALA
	B-B VISTA LATERAL INYECTOR	1:50
ELABORADO POR	HERRERA PRADO JORGE JAVIER	FECHA: 2023.04.19
		LAMINA: A2



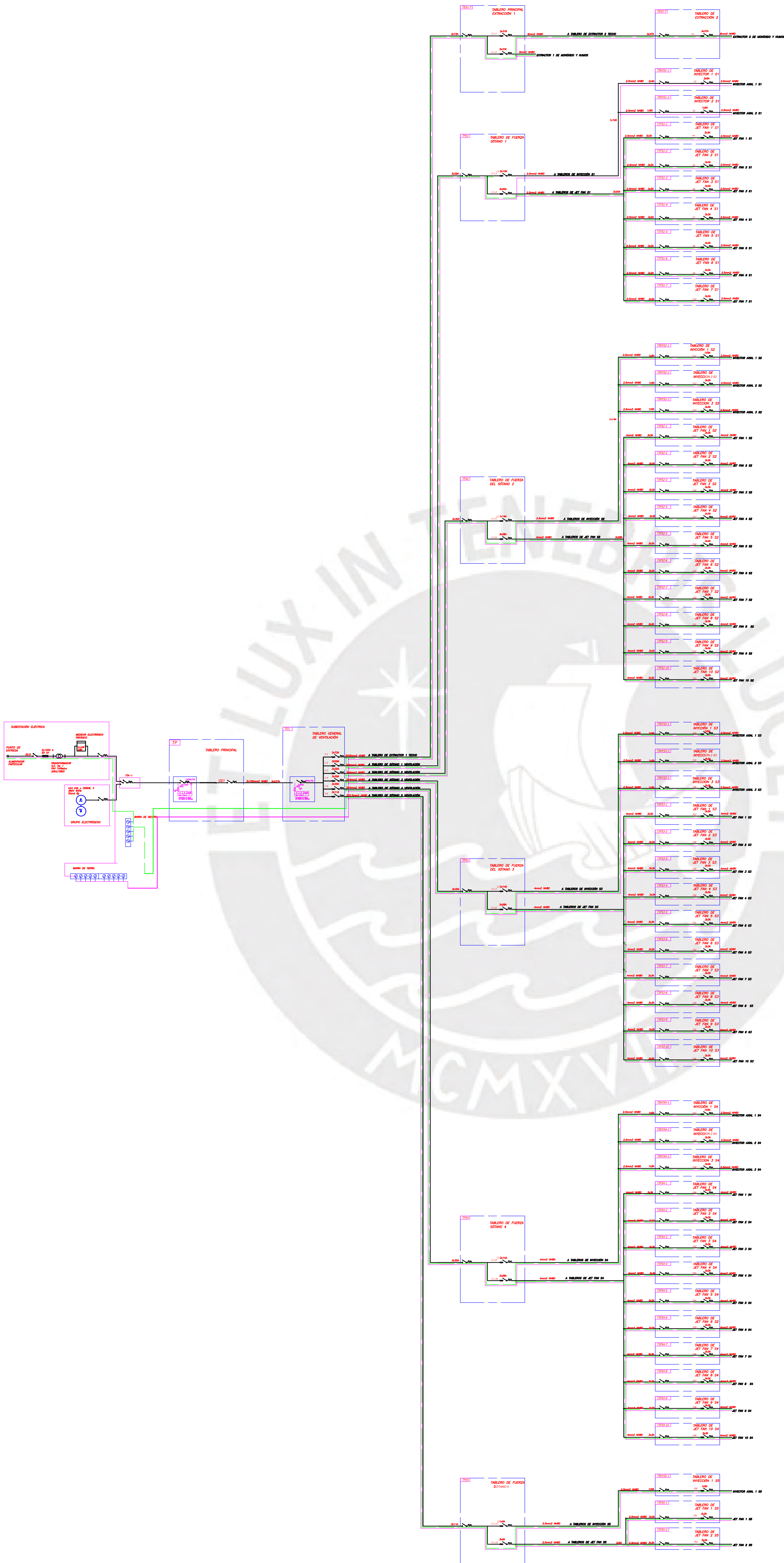
SECCIÓN C-C VISTA DE CORTE DE EQUIPO DE EXTRACCIÓN DE MONÓXIDO Y HUMOS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCION 	SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA ESTACIONAMIENTO SUBTERRÁNEO DE 5 NIVELES CON EXTENSION DE 6850m2 EXTRACTOR DE HUMOS Y MONÓXIDO VISTA LATERAL C-C	ESCALA 1:50
ELABORADO POR	HERRERA PRADO JORGE JAVIER	FECHA: 2023.04.19
		LAMINA: A2



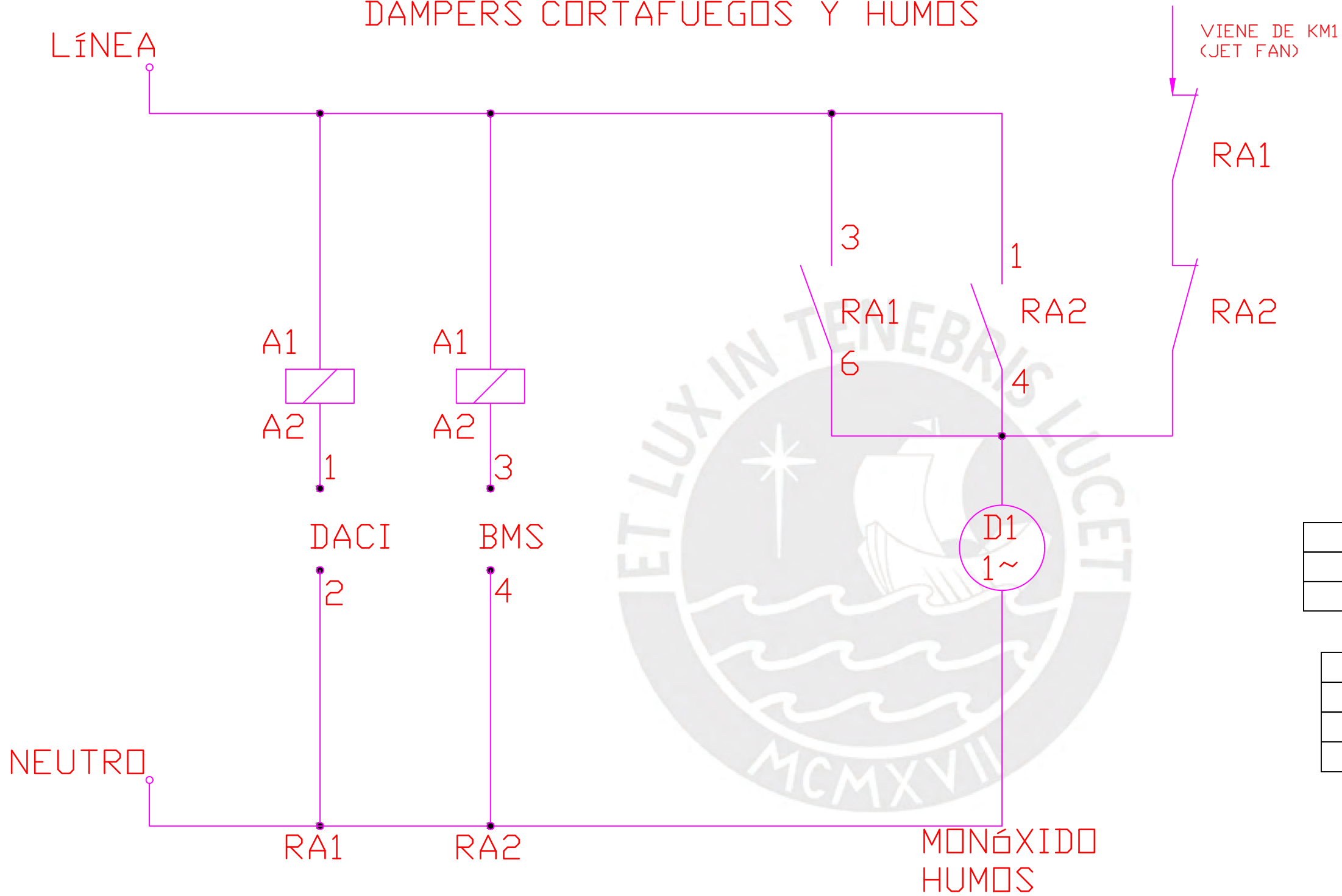
SECCIÓN D-D VISTA DE CORTE DE EQUIPO DE
EXTRACCIÓN DE MONÓXIDO Y HUMOS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCION 	SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA ESTACIONAMIENTO SUBTERRÁNEO DE 5 NIVELES CON EXTENSION DE 6850m2 EXTRACTOR DE HUMOS Y MONÓXIDO VISTA LATERAL D-D	ESCALA 1:50
ELABORADO POR	HERRERA PRADO JORGE JAVIER	FECHA: 2023.04.19
		LAMINA: A2



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROTECCION	PROYECTO	ESCALA
	DIAGRAMA UNIFILAR	S/E
ELABORADO POR	HERRERA PRADO JORGE JAVIER	FECHA: 2023.04.19
		LAMINA: A0

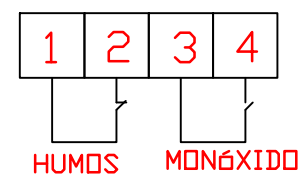
DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE DAMPERS CORTAFUEGOS Y HUMOS



Cuadro de equipos	
Item	Descripción
1	Damper de humos sótano 1

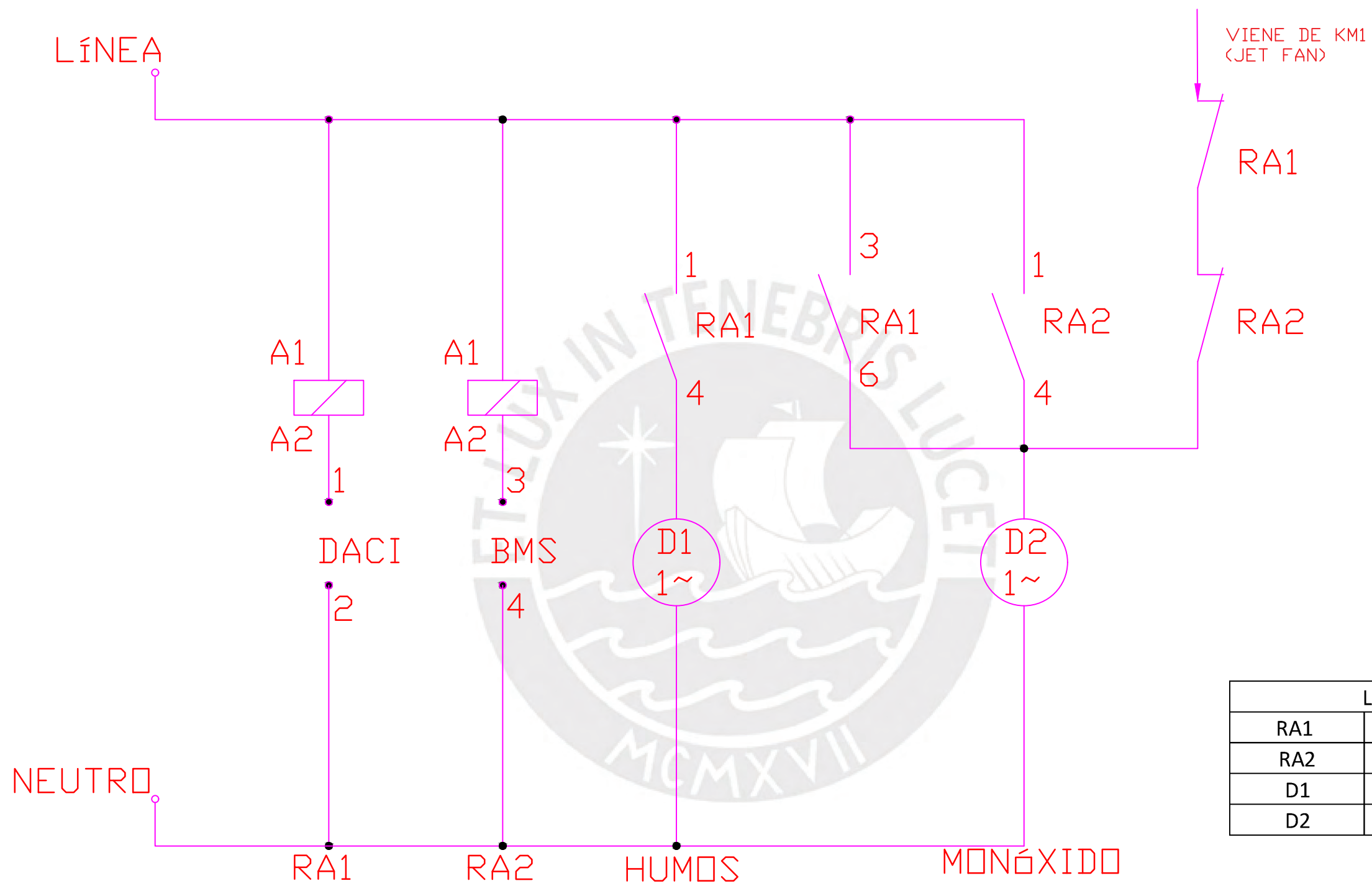
LEYENDA	
RA1	Relé para humos
RA2	Relé para monóxido
D1	Damper de humos

BORNERAS DE CONTROL CENTRALIZADO



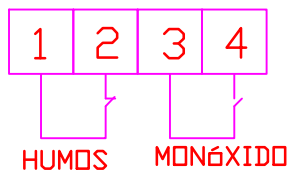
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ESTUDIOS GENERALES CIENCIAS – ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCIÓN	PROYECTO	ESCALA
	CONEXIÓN DAMPER HUMOS S1	S/E
ELABORADO POR	HERRERA PRADO JORGE JAVIER	FECHA: 2023.04.19
		LAMINA: A3

DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE DAMPERS CORTAFUEGOS Y HUMOS



LEYENDA	
RA1	Relé para humos
RA2	Relé para monóxido
D1	Damper de humos
D2	Damper de monóxido

BORNERAS DE CONTROL CENTRALIZADO



Cuadro de equipos	
Item	Descripción
1	Damper de humos 1, 2 sótano 2
2	Damper de humos 1, 2 sótano 3
3	Damper de humos 1, 2 sótano 4

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ESTUDIOS GENERALES CIENCIAS – ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCIÓN 	PROYECTO CONEXIÓN DAMPER HUMOS	ESCALA S/E
ELABORADO POR HERRERA PRADO JORGE JAVIER	FECHA: 2023.04.19	
		LAMINA: A3

DIAGRAMA DE FUERZA

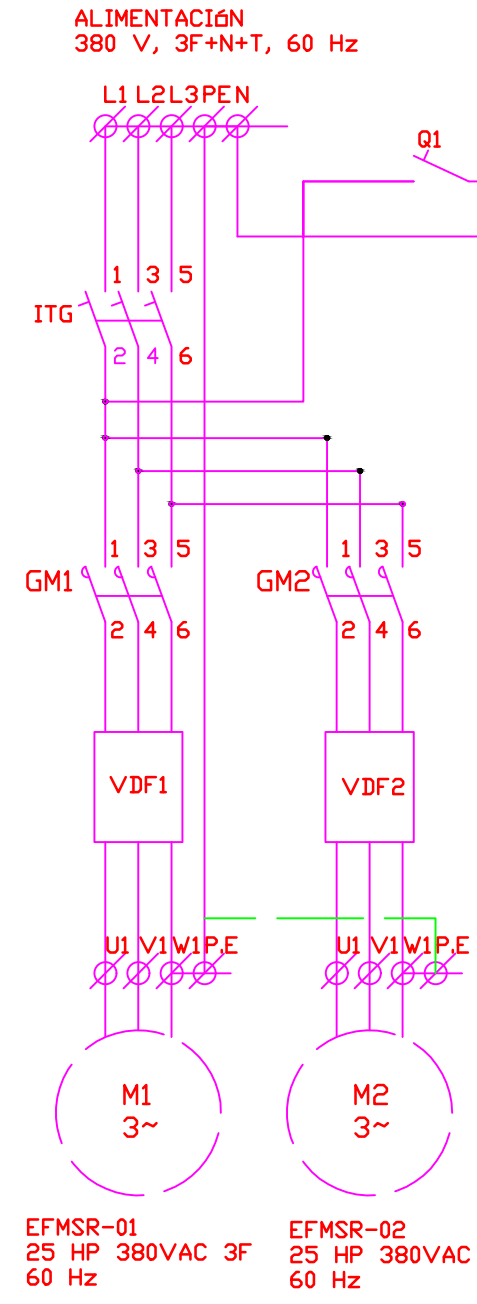
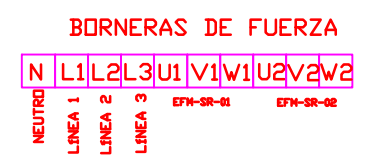
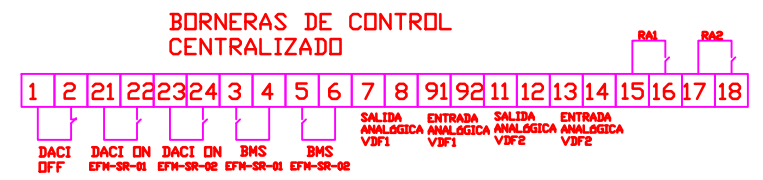
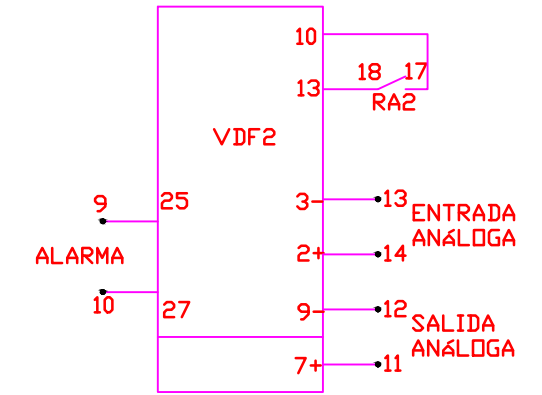
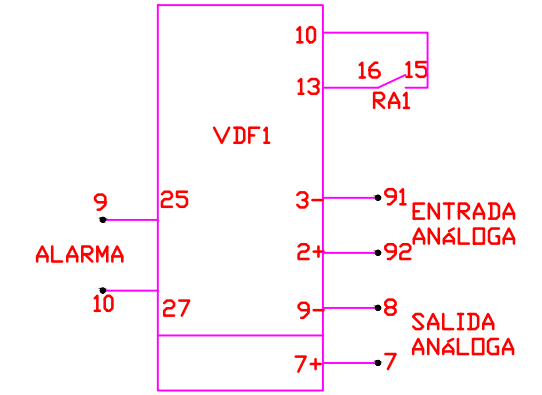
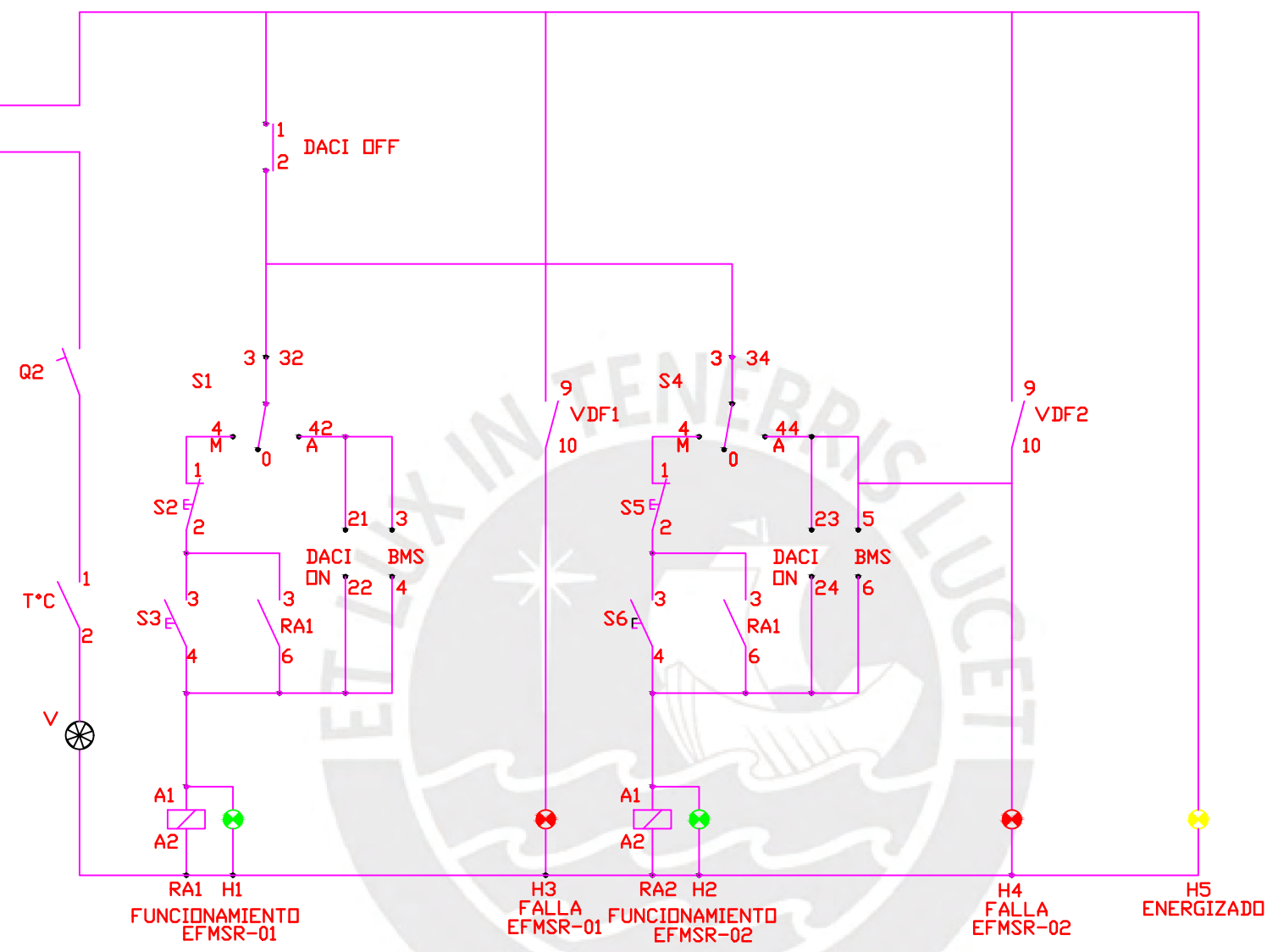


DIAGRAMA DE CONTROL



LEYENDA

ITG	Interruptor general 3x125 A
GM1, GM2	Guardamotor 40-54A
Q1, Q2	Interruptor unipolar 6A
RA1, RA2	Relé auxiliar
HK1-11	Contactador auxiliar del GM
S1, S4	Selector M, O, A
S3, S6	Pulsador de arranque
S2, S5	Pulsador de parada
H5	Lámpara de energizado
H1, H2	Lámpara de funcionamiento
H3, H4	Lámpara de falla
VDF1, VDF2	Variador de frecuencia

Cuadro de equipos

Item	Descripción
1	EFMSR-TE-01
2	EFMSR-TE-02

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESTUDIOS GENERALES CIENCIAS – ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA

METODO DE PROYECCIÓN 	PROYECTO FUERZA Y CONTROL EXT	ESCALA S/E
ELABORADO POR HERRERA PRADO JORGE JAVIER	FECHA: 2023.04.19	LAMINA: A3

DIAGRAMA DE FUERZA

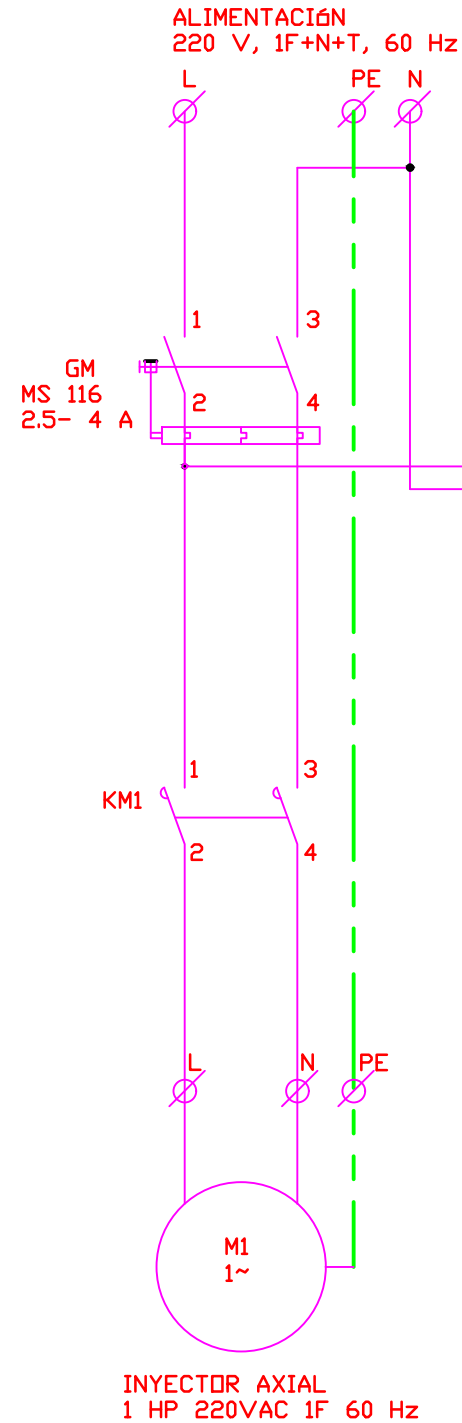
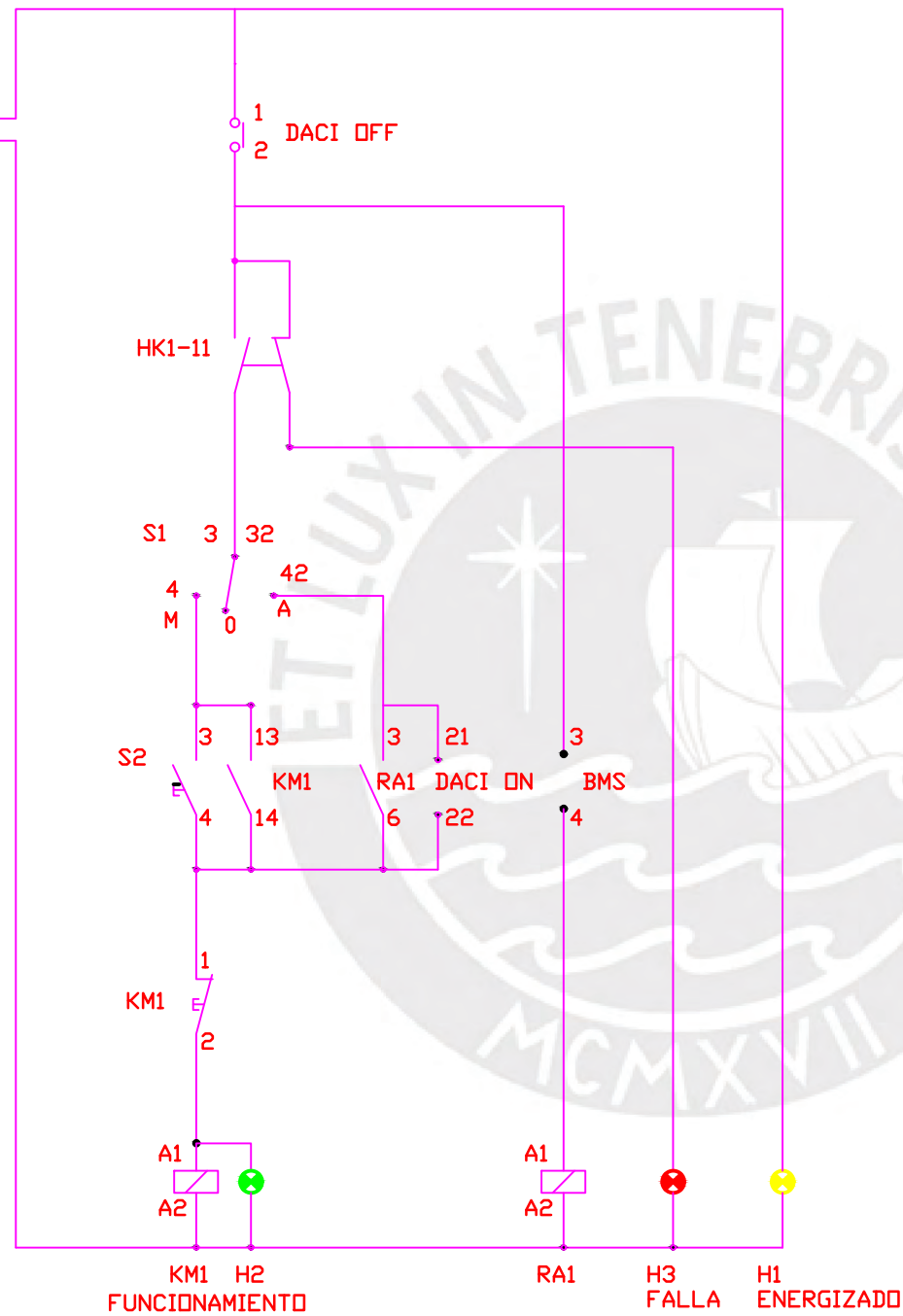
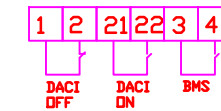


DIAGRAMA DE CONTROL



BORNERAS DE CONTROL CENTRALIZADO



BORNERAS DE FUERZA



LEYENDA	
GM	Guardamotor 6.3-10A
KM1	Contactador 9A
Q1	Interruptor unipolar 6A
RA1	Relé auxiliar
HK1-11	Contactador auxiliar del GM
S1	Selector M, O, A
S2	Pulsador de arranque
S3	Pulsador de parada
H1	Lámpara de energizado
H2	Lámpara de funcionamiento
H3	Lámpara de falla

Cuadro de equipos	
Item	Descripción
1	IA-S1-01,02
2	IA-S2-01,02,03
3	IA-S3-01,02,03
4	IA-S4-01,02,03
5	IA-S5-01

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESTUDIOS GENERALES CIENCIAS – ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA

METODO DE PROYECCIÓN	PROYECTO	ESCALA
	FUERZA Y CONTROL INY	S/E
ELABORADO POR	HERRERA PRADO JORGE JAVIER	FECHA: 2023.04.19
		LAMINA: A3

DIAGRAMA DE FUERZA

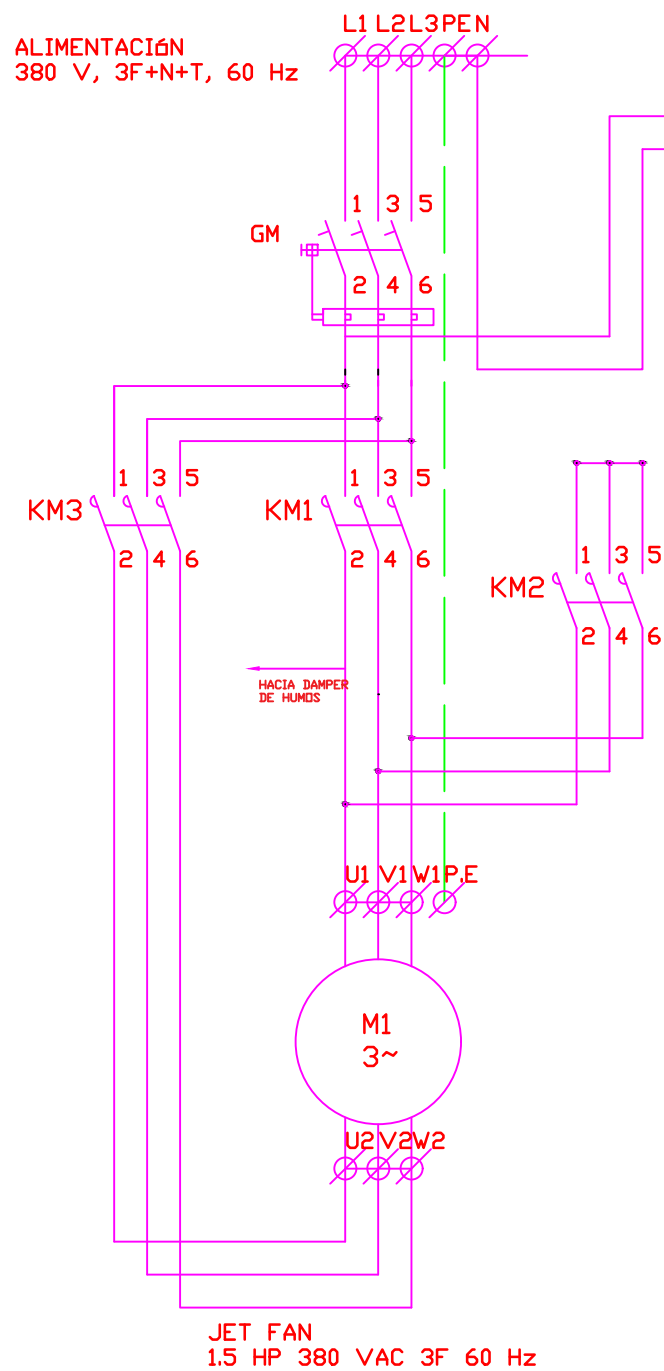
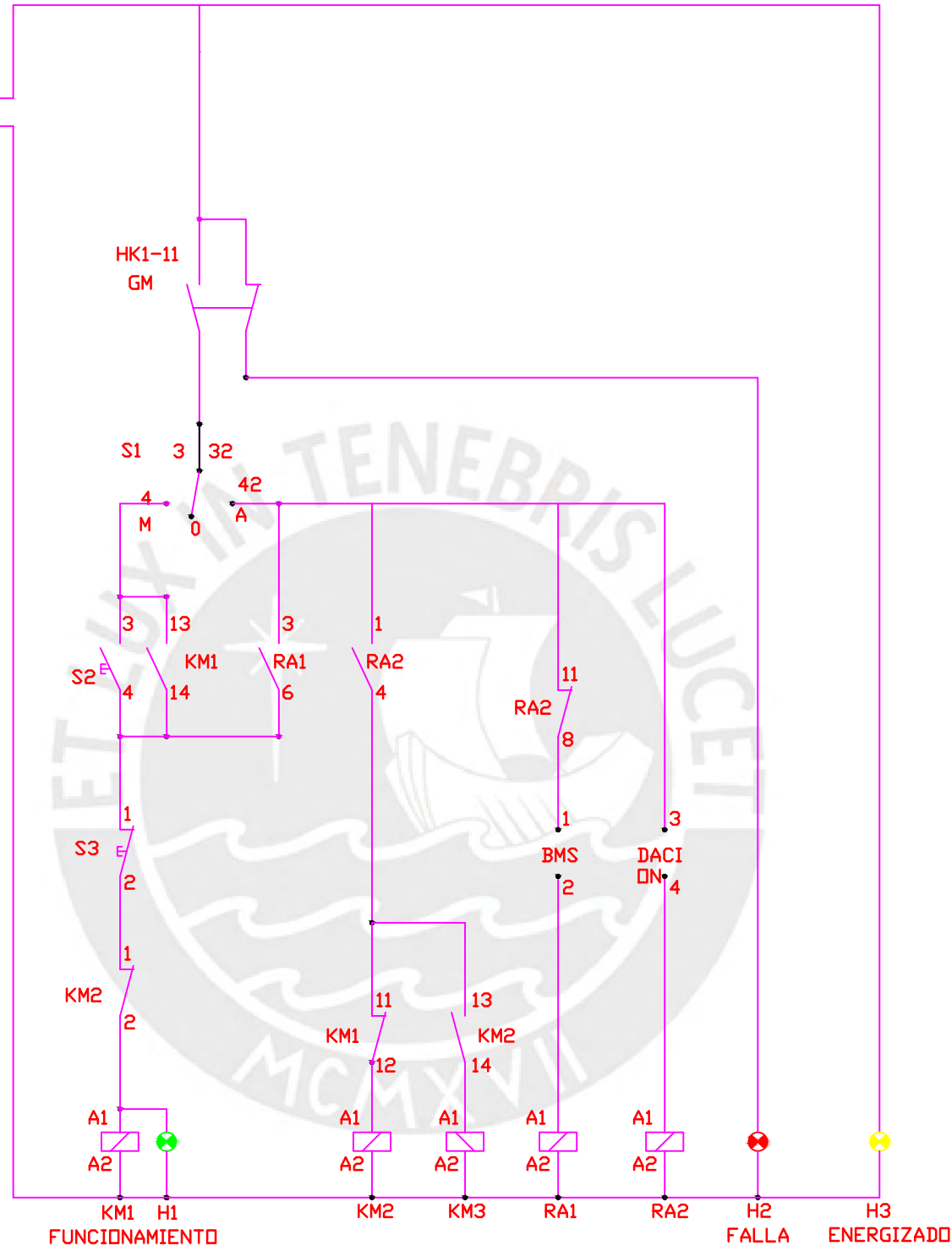
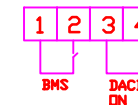


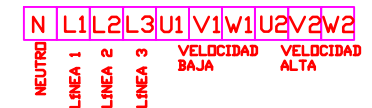
DIAGRAMA DE CONTROL



BORNERAS DE CONTROL CENTRALIZADO



BORNERAS DE FUERZA



LEYENDA	
GM	Guardamotor 2.5-4A
KM1	Contactador 9A baja velocidad
KM2	Contactador 9A auxiliar
KM3	Contactador 9A alta velocidad
Q1	Interruptor unipolar 6A
RA1	Relé baja velocidad
RA2	Relé alta velocidad
HK1-11	Contactador auxiliar del GM
S1	Selector M, O, A
S2	Pulsador de arranque
S3	Pulsador de parada
H1	Lámpara de energizado
H2	Lámpara de funcionamiento
H3	Lámpara de falla

Cuadro de equipos	
Item	Descripción
1	JF-S1-01,02...07
2	JF-S2-01,02...10
3	JF-S3-01,02...10
4	JF-S4-01,02...10
5	JF-S5-01,02

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESTUDIOS GENERALES CIENCIAS – ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	PROYECTO	ESCALA
	FUERZA Y CONTROL JET FAN	S/E
ELABORADO POR	HERRERA PRADO JORGE JAVIER	FECHA: 2023.04.19
		LAMINA: A3

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA ESTACIONAMIENTO
SUBTERRÁNEO DE CINCO NIVELES CON EXTENSIÓN DE 6850 M²**

ANEXOS

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico

AUTOR:

Jorge Javier Herrera Prado

ASESOR:

Enrique José Barrantes Peña

Lima, noviembre 2024

ÍNDICE

ÍNDICE	i
ANEXO A.1: Dimensión del primer sótano	1
ANEXO A.2: Dimensión del segundo sótano	2
ANEXO A.3: Dimensión del tercer sótano	3
ANEXO A.4: Dimensión del cuarto sótano	4
ANEXO A.5: Dimensión del quinto sótano	5
ANEXO A.6: Equivalentes circulares para ductos rectangulares.....	6
ANEXO A.7: Perdidas de fricción (Pa/m) para ductos	8
ANEXO A.8: Caída de presión en accesorios de ductos	9
ANEXO A.9: Dimensiones recomendadas de varillas roscadas.....	22
ANEXO A.10: Cargas admisibles para soportes de ductos (Ángulos de acero A36) ...	23
ANEXO A.11: Jet Fan seleccionado IFHT-4-50N	24
ANEXO A.12: Inyector axial seleccionado 5HGB800H-HGB-800-1.....	25
ANEXO A.13: Extractor de flujo mixto seleccionado QEI- SERIES 300	26
ANEXO A.14: Sensor de monóxido COS-231M-RL-220	27
ANEXO A.15: Motor eléctrico trifásico W22 IE3 Premium Efficiency 60Hz-4P-380V.....	28
ANEXO A.16: Motor eléctrico monofásico W22 IE3 Premium Efficiency 220V.....	29
ANEXO A.17: Métodos de instalación para conductores eléctricos	30
ANEXO A.17: Métodos de instalación para conductores eléctricos (continuación).....	31
ANEXO A.18: Factores de reducción por grupos de más de 1 circuito o más	32
ANEXO A.19: Factores de corrección para temperatura ambiente distinta de 30°	33
ANEXO A.20: Capacidad de corrientes en A de conductores aislados NH80	34
ANEXO A.21: Factores de demanda para acometidas y alimentadores para predios..	35
ANEXO A.22: Dimensión de la tubería de protección para los conductores	36
ANEXO A.23: Máximo porcentaje de llenado de conductos y tuberías eléctricas	37
ANEXO A.24: Espesor de aislamiento de conductores según el tipo de conductor y sección nominal.....	38
ANEXO A.25: Diámetro de conductores en cables según su sección nominal.....	39
ANEXO A.26: Sección transversal de tubería según porcentaje de llenado.....	40
ANEXO A.27: Interruptor termomagnético C120N Schneider	41
ANEXO A.28: Contactor ABB AF09-30-10-41	42
ANEXO A.29: Guardamotor ABB AF09-30-10-41	43
ANEXO A.30: Variador de frecuencia ABB ACS480-04-050A-4	44

ANEXO A.1: Dimensión del primer sótano



ANEXO A.2: Dimensión del segundo sótano



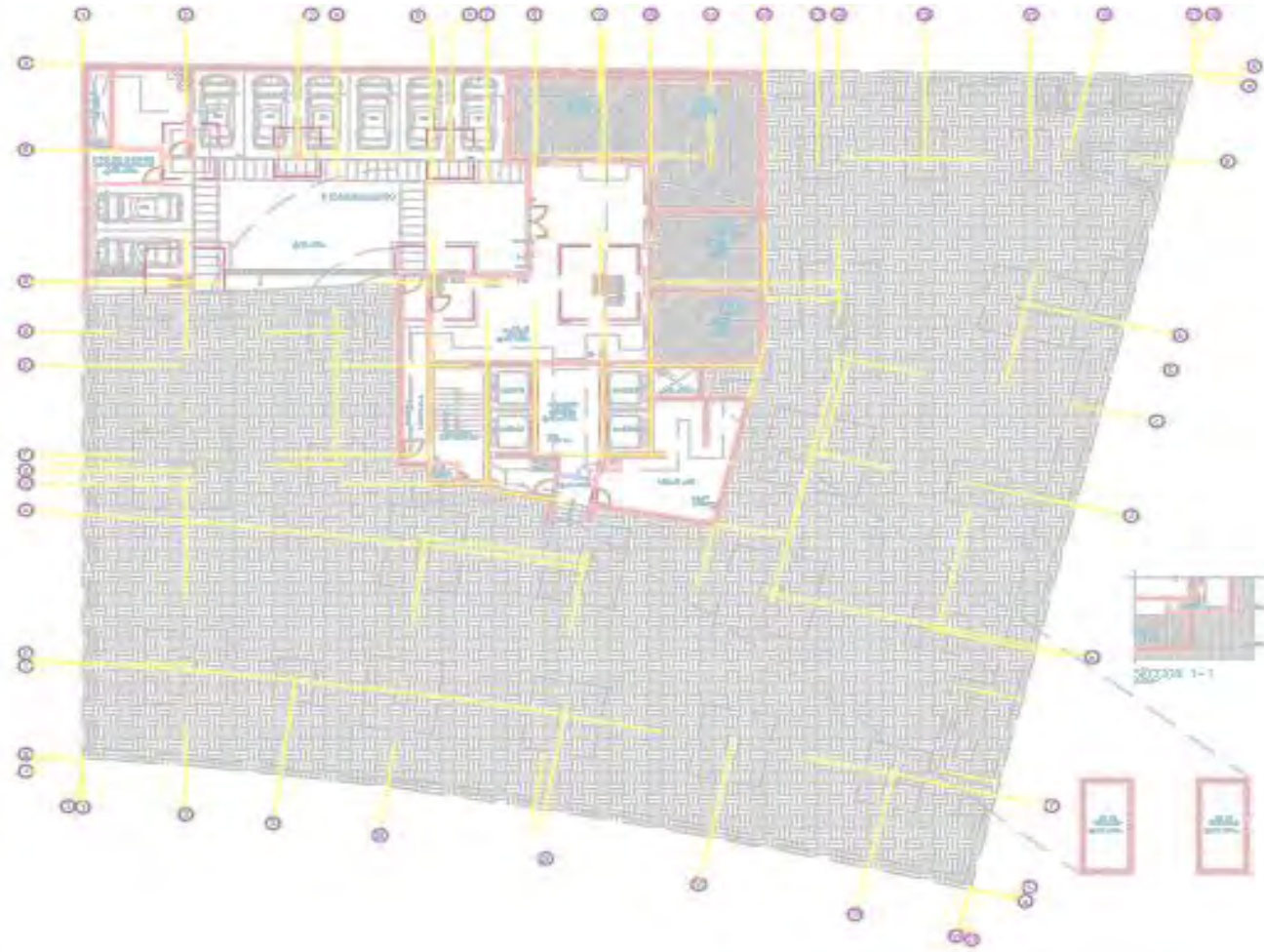
ANEXO A.3: Dimensión del tercer sótano



ANEXO A.4: Dimensión del cuarto sótano



ANEXO A.5: Dimensión del quinto sótano



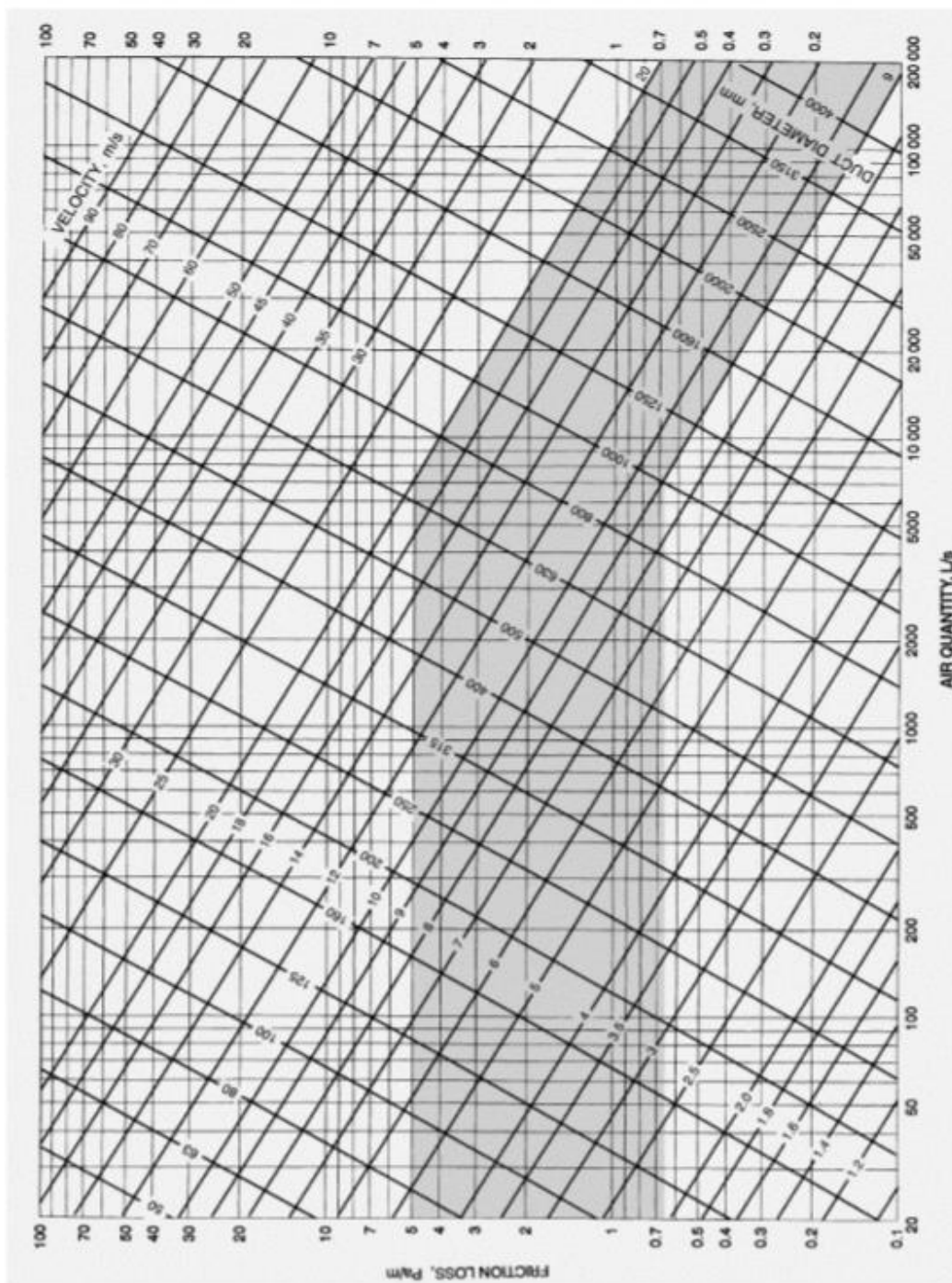
ANEXO A.6: Equivalentes circulares para ductos rectangulares

Circular Duct Diameter, in.	Length of One Side of Rectangular Duct a, in.																																							
	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36																				
	Length Adjacent Side of Rectangular Duct b, in.																																							
5	5																																							
5.5	6	5																																						
6	8	6																																						
6.5	9	7	6																																					
7	11	8	7																																					
7.5	13	10	8	7																																				
8	15	11	9	8																																				
8.5	17	13	10	9																																				
9	20	15	12	10	8																																			
9.5	22	17	13	11	9																																			
10	25	19	15	12	10	9																																		
10.5	29	21	16	14	12	10																																		
11	32	23	18	15	13	11	10																																	
11.5		26	20	17	14	12	11																																	
12		29	22	18	15	13	12																																	
12.5		32	24	20	17	15	13																																	
13		35	27	22	18	16	14	12																																
13.5		38	29	24	20	17	15	13																																
14			32	26	22	19	17	14																																
14.5			35	28	24	20	18	15																																
15			38	30	25	22	19	16	14																															
16			45	36	30	25	22	18	15																															
17				41	34	29	25	20	17	16																														
18				47	39	33	29	23	19	17																														
19					54	44	38	33	26	22	19	18																												
20						50	43	37	29	24	21	19																												
21							57	48	41	33	27	23	20																											
22							64	54	46	36	30	26	23	20																										
23								60	51	40	33	28	25	22																										
24									66	57	44	36	31	27	24	22																								
25										63	49	40	34	29	26	24																								
26											69	54	44	37	32	28	26	24																						
27												76	59	48	40	35	31	28	25																					
28													64	52	43	38	33	30	27	26																				
29														70	56	47	41	36	32	29	27																			
30															76	61	51	44	39	35	31	29	28																	
31																82	66	55	47	41	37	34	31	29																
32																	89	71	59	51	44	40	36	33	31															
33																		96	76	64	54	48	42	38	35	33	30													
34																			82	68	58	51	45	41	37	35	32													
35																				88	73	62	54	48	44	40	37	34	32											
36																					95	78	67	58	51	46	42	39	36	34										
37																						101	83	71	62	55	49	45	41	38	36	34								
38																							108	89	76	66	58	52	47	44	40	38	36							
39																								95	80	70	62	55	50	46	43	40	37	36						
40																									101	85	74	65	58	53	49	45	42	39	37					
41																									107	91	78	69	62	56	51	47	44	41	39					
42																									114	96	83	73	65	59	54	50	46	44	41					
43																										120	102	88	77	69	62	57	53	49	46	43				
44																											107	93	81	73	66	60	55	51	48	45				
45																											113	98	86	76	69	63	58	54	50	47				
46																												120	103	90	80	72	66	61	56	53	49			
47																												126	108	95	84	76	69	64	59	55	52			
48																												133	114	100	89	80	73	67	62	58	54			
49																													140	120	105	93	84	76	70	65	60	56		
50																													147	126	110	98	88	80	73	68	63	59		
51																														132	115	102	92	83	76	71	66	61		
52																														139	121	107	96	87	80	74	69	64		
53																															145	127	112	100	91	83	77	71	67	
54																															152	133	117	105	95	87	80	74	70	
55																																139	123	110	99	91	84	78	72	
56																																145	128	114	104	95	87	81	75	
57																																151	134	119	108	98	91	84	78	
58																																	158	139	124	112	102	94	87	81
59																																	165	145	130	117	107	98	91	85
60																																	172	151	135	122	111	102	94	88

ANEXO A.6: Equivalentes circulares para ductos rectangulares (Continuación)

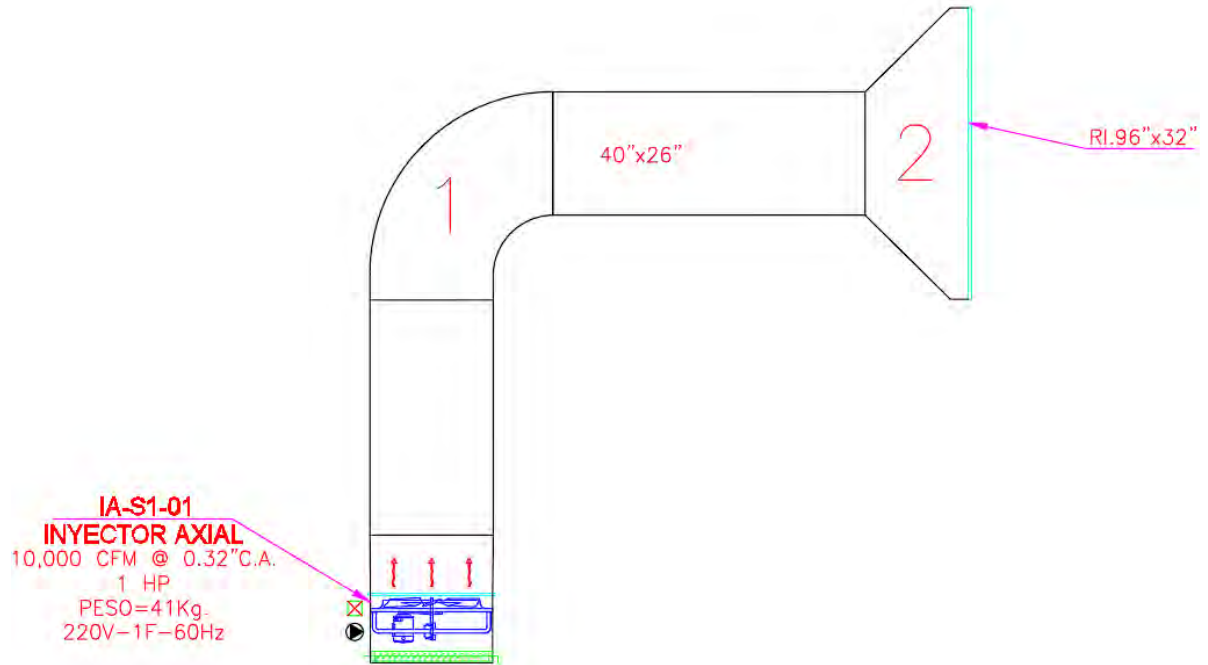
Circular Duct Diameter, in.	Minor Axis a, in.																
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24	30
5	8																
5.5	9 7																
6	11,12																
6.5	14 9,10 8																
7	17 12 8																
7.5	19 13 10 9																
8	22 15 11																
8.5	17,18 13,14 11 10																
9	20,21 12 10																
9.5	16 14 12 11																
10	18,19 15 13																
10.5	21 17 15 13																
11	19 16 14 12 12																
11.5	20 18 14 13																
12	22,23 16,17 15 14																
12.5	25,26 20,21 14																
13	28 19 17 16 14																
13.5	30,31 21 18																
14	33 22 20 18 16,17 15																
14.5	34,36 24,25 22 19																
15	37 27 23 21 19 17,18																
15.5	41 20																
16	44,47 30,32 23,24 22 20																
17	33,35,36 26,27 24,25 21,23 20																
18	38,39 29,30 25,26 22																
19	43,46 32,34,35 28,29 23 22																
20	49,52 37,38,40 31,32 25,27 24																
21	55,58 41 34 28,30 25 23,24																
22	61 45,48 36,37,39 31,33 27,29 26																
23	51,54 40,43 34,36 30 27 26																
24	57,60 47 39 32,33 29 28																
25	63 50 42 35 31,32 29																
26	67,70,73 53,56 45 38 34,35 31																
27	76,79 59,62 49 41 37 33																
28	65 52,55 44 40 36																
29	69,72 58 47 43 39 35																
30	75,78 61,64 51,54 46 42 38																
31	81 67 57 49 45 41 37																
32	71,74 60 53 48 40																
33	77,80 66 56 51 44																
34	69 59,62 47 43																
35	73,76 65 55,58 50 46																
36	79 68 61 53 49																
37	71 64 57 52 43																
38	75,78 67 60 55																
39	81 70,73 63 59 46																
40	77 66,69 62 49																
41	80 72 65 52																
42	75 68 55																
43	79 71																
44	82 74 58																
45	77 61																
46	81 65																
47	68																
48	71																
49	74																
50	77																
51	80																
52	81																

ANEXO A.7: Perdidas de fricción (Pa/m) para ductos (densidad=1.2 kg/m³ y rugosidad=0.09)

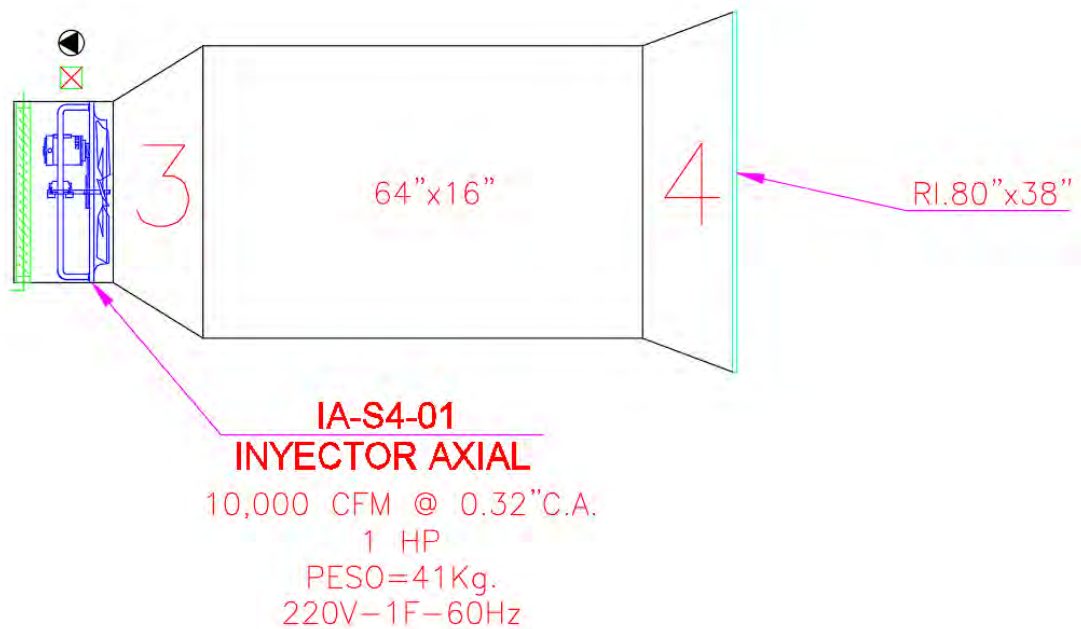


ANEXO A.8: Caída de presión en accesorios de ductos

- Codos lisos y transformación

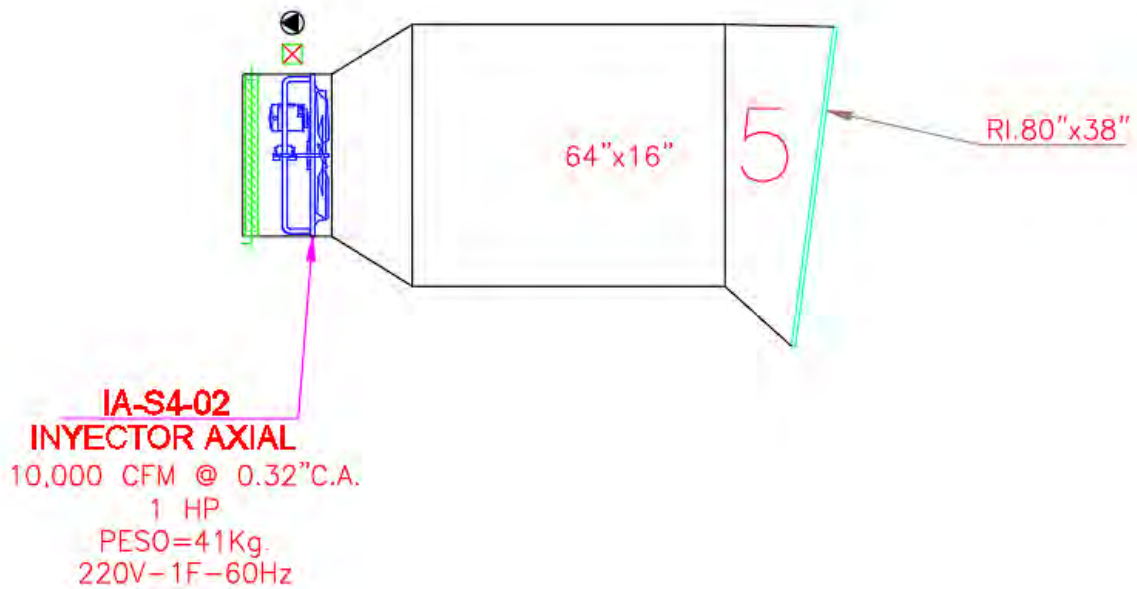


- Ampliación y transformación

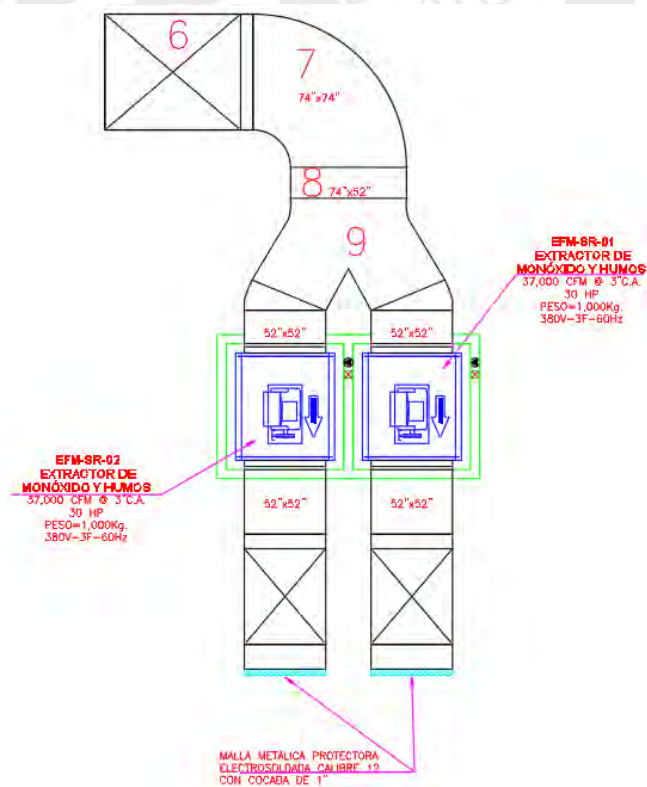


ANEXO A.8 (Continuación): Caída de presión en accesorios de ductos

- Ampliación y transformación

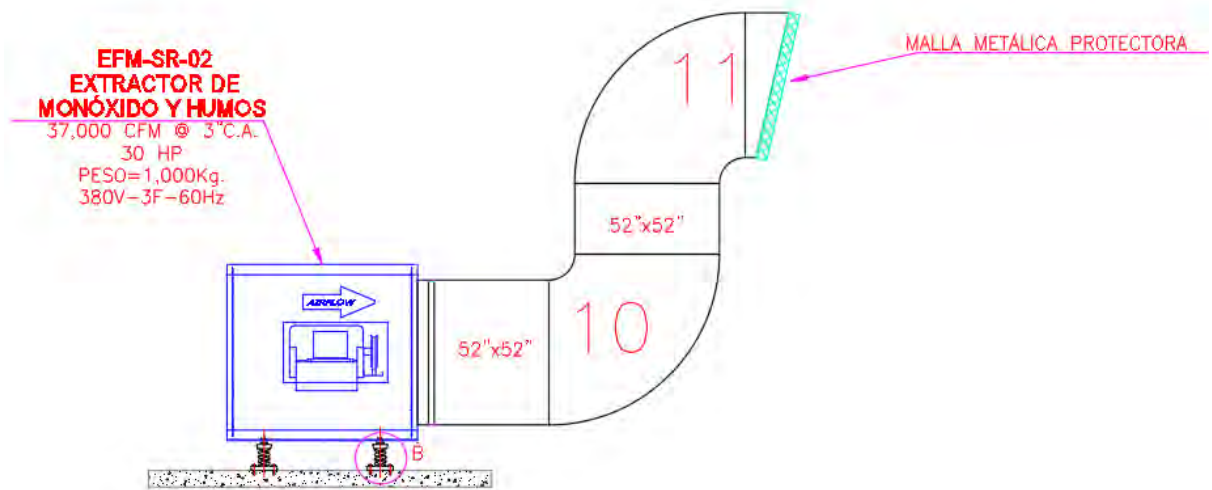


- Codos lisos y uniones en Y



ANEXO A.8 (Continuación): Caída de presión en accesorios de ductos

- **Codos lisos**

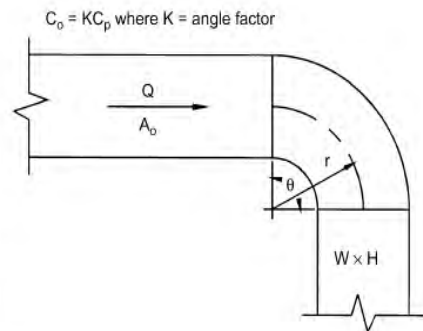


- **Accesorio 1: Codo liso**

El accesorio 1 es un codo de 90°

CR3-1 Elbow, Smooth Radius, Without Vanes

		C_p Values										
		H/W										
r/W		0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	8.00
0.50		1.53	1.38	1.29	1.18	1.06	1.00	1.00	1.06	1.12	1.16	1.18
0.75		0.57	0.52	0.48	0.44	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44
1.00		0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21
1.50		0.22	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17
2.00		0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15
		Angle Factor K										
θ		0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
K		0.00	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1.00	1.13	1.20	1.28	1.40



Caudal (CFM)	10000
ancho (W0) en mm	1016
altura (H) en mm	660.4
radio medio (°)	711.2
r/W	0.7
H/W	0.65
K	1
Co	0.5

ANEXO A.8 (Continuación): Caída de presión en accesorios de ductos

Velocidad: $8.5 \frac{m}{s}$

$Q = 10000 \text{ CFM} = 4.72 \frac{m^3}{s}$

Densidad: $1.21 \frac{kg}{m^3}$

Presión dinámica : densidad * $\frac{(velocidad)^2}{2}$

Presión dinámica: $1.21 * \frac{8.5^2}{2} = 43.71 \text{ Pa}$

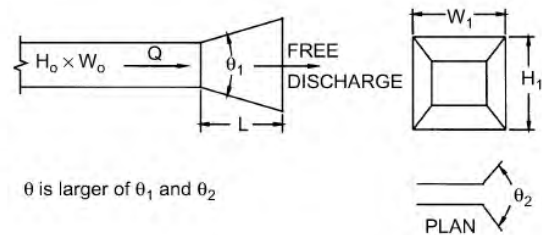
Se halla la caída de presión para este accesorio:

$\Delta P = C_o * Pvo = 43.71 * 0.5 = 21.86 \text{ Pa}$

• **Accesorio 2: Transformación**

SR2-5 Pyramidal Diffuser, Free Discharge

A_1/A_0	Re/1000	C_o Values								
		θ								
		8	10	14	20	30	45	60	90	120
1	50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	400	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	50	0.65	0.68	0.74	0.82	0.92	1.05	1.10	1.08	1.08
	100	0.61	0.66	0.73	0.81	0.90	1.04	1.09	1.08	1.08
	200	0.57	0.61	0.70	0.79	0.89	1.04	1.09	1.08	1.08
	400	0.50	0.56	0.64	0.76	0.88	1.02	1.07	1.08	1.08
	2000	0.50	0.56	0.64	0.76	0.88	1.02	1.07	1.08	1.08
4	50	0.53	0.60	0.69	0.78	0.90	1.02	1.07	1.09	1.09
	100	0.49	0.55	0.66	0.78	0.90	1.02	1.07	1.09	1.09
	200	0.42	0.50	0.62	0.74	0.87	1.00	1.06	1.08	1.08
	400	0.36	0.44	0.56	0.70	0.84	0.99	1.06	1.08	1.08
	2000	0.36	0.44	0.56	0.70	0.84	0.99	1.06	1.08	1.08
6	50	0.50	0.57	0.66	0.77	0.91	1.02	1.07	1.08	1.08
	100	0.47	0.54	0.63	0.76	0.98	1.02	1.07	1.08	1.08
	200	0.42	0.48	0.60	0.73	0.88	1.00	1.06	1.08	1.08
	400	0.34	0.44	0.56	0.73	0.86	0.98	1.06	1.08	1.08
	2000	0.34	0.44	0.56	0.73	0.86	0.98	1.06	1.08	1.08
10	50	0.45	0.53	0.64	0.74	0.85	0.97	1.10	1.12	1.12
	100	0.40	0.48	0.62	0.73	0.85	0.97	1.10	1.12	1.12
	200	0.34	0.44	0.56	0.69	0.82	0.95	1.10	1.11	1.11
	400	0.28	0.40	0.55	0.67	0.80	0.93	1.09	1.11	1.11
	2000	0.28	0.40	0.55	0.67	0.80	0.93	1.09	1.11	1.11



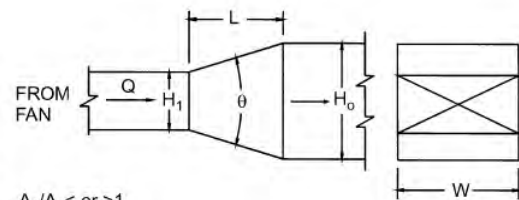
ANEXO A.8 (Continuación): Caída de presión en accesorios de ductos

Densidad (kg/m ³)	1.21
Caudal (CFM)	10000
Ancho inicial (W1) en mm	1016
Altura inicial (H1) en mm	660.4
Ancho final (W2) en mm	2438.4
Altura final (H2) en mm	812.8
Ángulo (°)	90
Longitud (m)	0.88
Velocidad (m/s)	8.5
Área 1 (m ²)	0.671
Área 2 (m ²)	1.982
A2/A1 (m ²)	2.954
Presión dinámica (Pa)	43.71
Coefficiente de pérdidas (Co)	1.08
Caída de presión (Pa)	47.21

Accesorio 3: Ampliación

SR4-1 Transition, Rectangular, Two Sides Parallel, Symmetrical, Supply Air Systems

A_0/A_1	C_o Values									
	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43
0.17	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.07	0.18	0.28	0.36	0.42
0.25	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41
0.50	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07	0.14	0.20	0.26	0.27
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
2.00	0.56	0.52	0.60	0.96	1.40	1.48	1.52	1.48	1.44	1.40
4.00	2.72	3.04	3.52	6.72	9.60	10.88	11.20	11.04	10.72	10.56
10.00	24.00	26.00	36.00	53.00	69.00	82.00	93.00	93.00	92.00	91.00
16.00	66.56	69.12	102.40	143.36	181.76	220.16	256.00	253.44	250.88	250.88



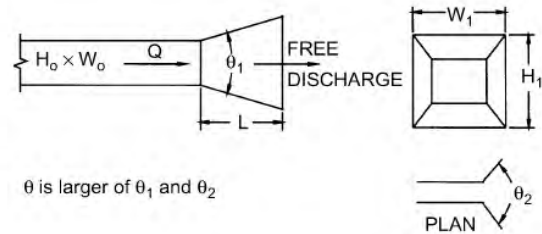
ANEXO A.8 (Continuación): Caída de presión en accesorios de ductos

Densidad (kg/m ³)	1.21
Caudal (CFM)	10000
Ancho inicial (W1) en mm	1067
Altura inicial (H1) en mm	1067
Ancho final (W2) en mm	1626
Altura final (H2) en mm	407
Ángulo (°)	63
Longitud (m)	0.5
Velocidad (m/s)	8.50
Área 1 (m ²)	1.13
Área 2 (m ²)	0.66
Á2/A1 (m ²)	0.58
Presión dinámica (Pa)	43.71
Coefficiente de pérdidas (Co)	0.075
Caída de presión (Pa)	3.27

• **Accesorio 4: Transformación**

SR2-5 Pyramidal Diffuser, Free Discharge

A_1/A_0	Re/1000	C_o Values								
		8	10	14	20	30	45	60	90	120
1	50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	400	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	50	0.65	0.68	0.74	0.82	0.92	1.05	1.10	1.08	1.08
	100	0.61	0.66	0.73	0.81	0.90	1.04	1.09	1.08	1.08
	200	0.57	0.61	0.70	0.79	0.89	1.04	1.09	1.08	1.08
	400	0.50	0.56	0.64	0.76	0.88	1.02	1.07	1.08	1.08
	2000	0.50	0.56	0.64	0.76	0.88	1.02	1.07	1.08	1.08
4	50	0.53	0.60	0.69	0.78	0.90	1.02	1.07	1.09	1.09
	100	0.49	0.55	0.66	0.78	0.90	1.02	1.07	1.09	1.09
	200	0.42	0.50	0.62	0.74	0.87	1.00	1.06	1.08	1.08
	400	0.36	0.44	0.56	0.70	0.84	0.99	1.06	1.08	1.08
	2000	0.36	0.44	0.56	0.70	0.84	0.99	1.06	1.08	1.08
6	50	0.50	0.57	0.66	0.77	0.91	1.02	1.07	1.08	1.08
	100	0.47	0.54	0.63	0.76	0.98	1.02	1.07	1.08	1.08
	200	0.42	0.48	0.60	0.73	0.88	1.00	1.06	1.08	1.08
	400	0.34	0.44	0.56	0.73	0.86	0.98	1.06	1.08	1.08
	2000	0.34	0.44	0.56	0.73	0.86	0.98	1.06	1.08	1.08
10	50	0.45	0.53	0.64	0.74	0.85	0.97	1.10	1.12	1.12
	100	0.40	0.48	0.62	0.73	0.85	0.97	1.10	1.12	1.12
	200	0.34	0.44	0.56	0.69	0.82	0.95	1.10	1.11	1.11
	400	0.28	0.40	0.55	0.67	0.80	0.93	1.09	1.11	1.11
	2000	0.28	0.40	0.55	0.67	0.80	0.93	1.09	1.11	1.11



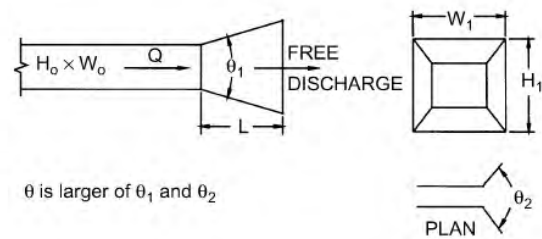
ANEXO A.8 (Continuación): Caída de presión en accesorios de ductos

Densidad (kg/m3)	1.21
Caudal (CFM)	10000
Ancho inicial (W1) en mm	1625.6
Altura inicial (H1) en mm	406.4
Ancho final (W2) en mm	2032
Altura final (H2) en mm	965.2
Ángulo (°)	44
Longitud (m)	0.53
Velocidad (m/s)	8.5
Área 1 (m2)	0.678
Área 2(m2)	1.96
A2/A1 (m2)	2.895
Presión dinámica (Pa)	43.71
Coefficiente de pérdidas (Co)	1.01
Caída de presión (Pa)	44.15

• **Accesorio 5: Ampliación**

SR2-5 Pyramidal Diffuser, Free Discharge

A_1/A_0	Re/1000	C_p Values								
		8	10	14	20	30	45	60	90	120
1	50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	400	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	50	0.65	0.68	0.74	0.82	0.92	1.05	1.10	1.08	1.08
	100	0.61	0.66	0.73	0.81	0.90	1.04	1.09	1.08	1.08
	200	0.57	0.61	0.70	0.79	0.89	1.04	1.09	1.08	1.08
	400	0.50	0.56	0.64	0.76	0.88	1.02	1.07	1.08	1.08
	2000	0.50	0.56	0.64	0.76	0.88	1.02	1.07	1.08	1.08
4	50	0.53	0.60	0.69	0.78	0.90	1.02	1.07	1.09	1.09
	100	0.49	0.55	0.66	0.78	0.90	1.02	1.07	1.09	1.09
	200	0.42	0.50	0.62	0.74	0.87	1.00	1.06	1.08	1.08
	400	0.36	0.44	0.56	0.70	0.84	0.99	1.06	1.08	1.08
	2000	0.36	0.44	0.56	0.70	0.84	0.99	1.06	1.08	1.08
6	50	0.50	0.57	0.66	0.77	0.91	1.02	1.07	1.08	1.08
	100	0.47	0.54	0.63	0.76	0.98	1.02	1.07	1.08	1.08
	200	0.42	0.48	0.60	0.73	0.88	1.00	1.06	1.08	1.08
	400	0.34	0.44	0.56	0.73	0.86	0.98	1.06	1.08	1.08
	2000	0.34	0.44	0.56	0.73	0.86	0.98	1.06	1.08	1.08
10	50	0.45	0.53	0.64	0.74	0.85	0.97	1.10	1.12	1.12
	100	0.40	0.48	0.62	0.73	0.85	0.97	1.10	1.12	1.12
	200	0.34	0.44	0.56	0.69	0.82	0.95	1.10	1.11	1.11
	400	0.28	0.40	0.55	0.67	0.80	0.93	1.09	1.11	1.11
	2000	0.28	0.40	0.55	0.67	0.80	0.93	1.09	1.11	1.11



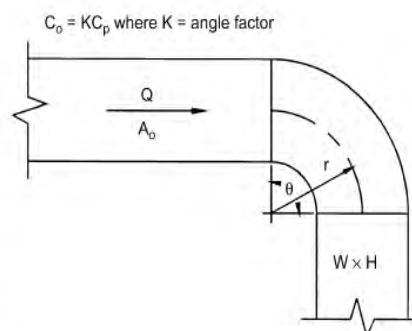
ANEXO A.8 (Continuación): Caída de presión en accesorios de ductos

Densidad (kg/m ³)	1.21
Caudal (CFM)	10000
Ancho inicial (W1) en mm	1625.6
Altura inicial (H1) en mm	406.4
Ancho final (W2) en mm	2032
Altura final (H2) en mm	965.2
Ángulo (°)	43
Longitud (m)	0.7
Velocidad (m/s)	10.5
Área 1 (m ²)	0.661
Área 2(m ²)	1.96
A2/A1 (m ²)	2.969
Presión dinámica (Pa)	66.70
Coefficiente de pérdidas (Co)	1
Caída de presión (Pa)	66.70

- **Accesorio 6: Codo liso**

CR3-1 Elbow, Smooth Radius, Without Vanes

		C_p Values										
		H/W										
r/W		0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	8.00
0.50		1.53	1.38	1.29	1.18	1.06	1.00	1.00	1.06	1.12	1.16	1.18
0.75		0.57	0.52	0.48	0.44	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44
1.00		0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21
1.50		0.22	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17
2.00		0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15
		Angle Factor K										
θ		0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
K		0.00	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1.00	1.13	1.20	1.28	1.40



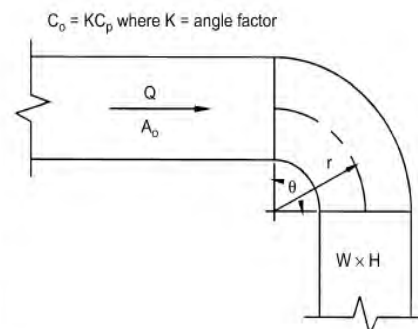
ANEXO A.8 (Continuación): Caída de presión en accesorios de ductos

Densidad (kg/m ³)	1.21
Caudal (CFM)	74000
ancho (W0) en mm	2200
altura (H) en mm	1879.6
radio medio (°)	1303.2
r/W	0.6
H/W	0.9
Ángulo (°)	90
Velocidad (m/s)	10.50
k	1
Co	1.2
Caída de presión (Pa)	66.7
Caída de presión final (Pa)	80

- **Accesorio 7: Codo liso**

CR3-1 Elbow, Smooth Radius, Without Vanes

		C_p Values										
		H/W										
r/W		0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	8.00
0.50		1.53	1.38	1.29	1.18	1.06	1.00	1.00	1.06	1.12	1.16	1.18
0.75		0.57	0.52	0.48	0.44	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44
1.00		0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21
1.50		0.22	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17
2.00		0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15
		Angle Factor K										
θ		0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
K		0.00	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1.00	1.13	1.20	1.28	1.40



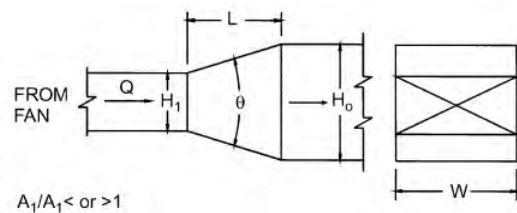
ANEXO A.8 (Continuación): Caída de presión en accesorios de ductos

Densidad (kg/m ³)	1.21
Caudal (CFM)	74000
ancho (W0) en mm	1879.6
altura (H) en mm	1879.6
radio medio (°)	1546.6
r/W	0.8
H/W	1
Ángulo (°)	90
Velocidad (m/s)	10.50
k	1
Co	0.3
Presión dinámica (Pa)	66.70
Caída de presión (Pa)	20

- **Accesorio 8: Reducción de dimensiones de ducto**

SR4-1 Transition, Rectangular, Two Sides Parallel, Symmetrical, Supply Air Systems

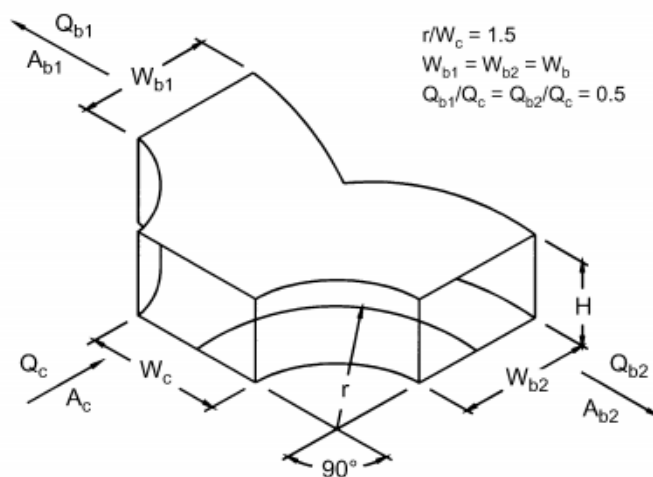
A_0/A_1	C_θ Values									
	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43
0.17	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.07	0.18	0.28	0.36	0.42
0.25	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41
0.50	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07	0.14	0.20	0.26	0.27
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
2.00	0.56	0.52	0.60	0.96	1.40	1.48	1.52	1.48	1.44	1.40
4.00	2.72	3.04	3.52	6.72	9.60	10.88	11.20	11.04	10.72	10.56
10.00	24.00	26.00	36.00	53.00	69.00	82.00	93.00	93.00	92.00	91.00
16.00	66.56	69.12	102.40	143.36	181.76	220.16	256.00	253.44	250.88	250.88



Densidad (kg/m ³)	1.21
Caudal (CFM)	74000
Ancho inicial (W1) en mm	1879.6
Altura inicial (H1) en mm	1879.6
Ancho final (W2) en mm	1879.6
Altura final (H2) en mm	1320.8
Ángulo (°)	48
Longitud (m)	0.5
Velocidad (m/s)	10.5
Área 1 (m ²)	3.5
Área 2 (m ²)	2.5
A1/A2 (m ²)	1.4
Presión dinámica (Pa)	66.7
Coefficiente de pérdidas (Co)	0.6
Caída de presión (Pa)	42.0

- **Accesorio 9: Unión Y**

En el caso de este accesorio se tiene una entrada de 74" x 74" y las salidas son de la misma dimensión (52" x 52")



ANEXO A.8 (Continuación): Caída de presión en accesorios de ductos

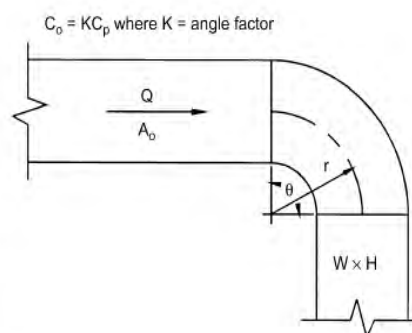
Densidad (kg/m ³)	1.21
Ac (m ²)	3.53
Ab1 (m ²)	1.74
Ab2 (m ²)	1.74
Ab/Ac	0.5
Velocidad (m/s)	10.5
Coefficiente de pérdidas (Co)	0.5
Presión dinámica (Pa)	66.7
Caída de presión (Pa)	34.7

- **Accesorio 10: Codo liso**

CR3-1 Elbow, Smooth Radius, Without Vanes

C_p Values											
r/W	H/W										
	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	8.00
0.50	1.53	1.38	1.29	1.18	1.06	1.00	1.00	1.06	1.12	1.16	1.18
0.75	0.57	0.52	0.48	0.44	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44
1.00	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21
1.50	0.22	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17
2.00	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15

Angle Factor K											
θ	0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
K	0.00	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1.00	1.13	1.20	1.28	1.40



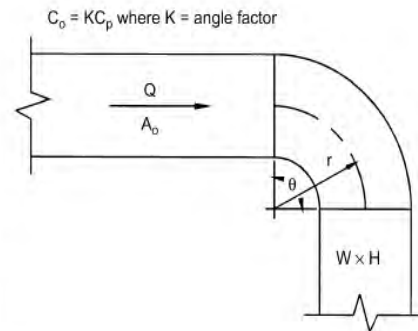
Densidad (kg/m ³)	1.21
Caudal (CFM)	37000
ancho (W0) en mm	1320.8
altura (H) en mm	1320.8
radio medio (°)	894.7
r/W	0.7
H/W	1
K	1
Co	0.7
Velocidad (m/s)	10.5
Presión dinámica (Pa)	66.7
Caída de presión (Pa)	48.2

ANEXO A.8 (Continuación): Caída de presión en accesorios de ductos

• Accesorio 11: Codo liso

CR3-1 Elbow, Smooth Radius, Without Vanes

		C_p Values										
r/W	H/W											
0.50	1.53	1.38	1.29	1.18	1.06	1.00	1.00	1.06	1.12	1.16	1.18	
0.75	0.57	0.52	0.48	0.44	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44	
1.00	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21	
1.50	0.22	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17	
2.00	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15	
		Angle Factor K										
θ	0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180	
K	0.00	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1.00	1.13	1.20	1.28	1.40	



Densidad (kg/m ³)	1.21
Caudal (CFM)	37000
ancho (W) en mm	1320.8
altura (H) en mm	1320.8
radio medio (°)	894.7
r/W	0.7
H/W	1
K	1
C_o	0.7
Velocidad (m/s)	10.5
Presión dinámica (Pa)	66.7
Caída de presión (Pa)	48.2

ANEXO A.9: Dimensiones recomendadas de varillas roscadas según el semiperímetro del ducto

MAXIMUM HALF OF DUCT PERIMETER	Pair at 10 ft Spacing		Pair at 8 ft Spacing		Pair at 5 ft Spacing		Pair at 4 ft Spacing	
	STRAP	WIRE/ROD	STRAP	WIRE/ROD	STRAP	WIRE/ROD	STRAP	WIRE/ROD
P/2 = 30"	1" x 22 ga.	10 ga. (.135")	1" x 22 ga.	10 ga. (.135")	1" x 22 ga.	12 ga. (.106")	1" x 22 ga.	12 ga. (.106")
P/2 = 72"	1" x 18 ga.	3/8"	1" x 20 ga.	1/4"	1" x 22 ga.	1/4"	1" x 22 ga.	1/4"
P/2 = 96"	1" x 16 ga.	3/8"	1" x 18 ga.	3/8"	1" x 20 ga.	3/8"	1" x 22 ga.	1/4"
P/2 = 120"	1 1/2" x 16 ga.	1/2"	1" x 16 ga.	3/8"	1" x 18 ga.	3/8"	1" x 20 ga.	1/4"
P/2 = 168"	1 1/2" x 16 ga.	1/2"	1 1/2" x 16 ga.	1/2"	1" x 16 ga.	3/8"	1" x 18 ga.	3/8"
P/2 = 192"	Not Given	1/2"	1 1/2" x 16 ga.	1/2"	1" x 16 ga.	3/8"	1" x 16 ga.	3/8"
P/2 = 193" up	SPECIAL ANALYSIS REQUIRED							
WHEN STRAPS ARE LAP JOINED USE THESE MINIMUM FASTENERS:					SINGLE HANGER MAXIMUM ALLOWABLE LOAD			
					STRAP		WIRE OR ROD (Dia.)	
1" x 18, 20, 22 ga. -two #10 or one 1/4" bolt					1" x 22 ga.- 260 lbs.		0.106"- 80 lbs.	
1" x 16 ga. -two 1/4" dia.					1" x 20 ga.- 320 lbs.		0.135"- 120 lbs.	
1 1/2" x 16 ga. -two 3/8" dia.					1" x 18 ga.- 420 lbs.		0.162"- 160 lbs.	
Place fasteners in series, not side by side.					1" x 16 ga.- 700 lbs.		1/4"- 270 lbs.	
					1 1/2" x 16 ga.- 1100 lbs.		3/8"- 680 lbs.	
							1/2"- 1250 lbs.	
							5/8"- 2000 lbs.	
				3/4"- 3000 lbs.				

ANEXO A.10: Cargas admisibles para soportes de ductos (Ángulos de acero A36)

Length	ANGLES											CHANNELS				
	1 x 1 x 16 ga.	1 x 1 x 18"	1-1/2 x 1-1/2 x 16 ga.	1-1/2 x 1-1/2 x 18"	1-1/2 x 1-1/2 x 3/16"	1-1/2 x 1-1/2 x 1/4" or 2 x 2 x 18"	2 x 2 x 3/16"	2 x 2 x 1/4"	2-1/2 x 2-1/2 x 3/16"	2-1/2 x 2-1/2 x 1/4"	3 x 3 x 1/4"	4 x 4 x 1/4"	3 x 4 LBS.	3 x 6 LBS.	4 x 5 LBS.	
18"	80	150	180	350	510	650	940	1230	1500	1960						
24"	75	150	180	350	510	650	940	1230	1500	1960						
30"	70	150	180	350	510	650	940	1230	1500	1960						
36"	60	130	160	340	500	620	920	1200	1480	1940						
42"	40	110	140	320	480	610	900	1190	1470	1930						
48"	-	80	110	290	450	580	870	1160	1440	1900						
54"	-	-	-	250	400	540	840	1120	1400	1860						
60"	-	-	-	190	350	490	780	1060	1340	1800						
66"	-	-	-	100	270	400	700	980	1260	1720						
72"	-	-	-	-	190	320	620	900	1180	1640						
78"	-	-	-	-	-	210	500	790	1070	1530						
84"	-	-	-	-	-	-	380	660	940	1400	2310	4680	4650	5980	9080	
96"	-	-	-	-	-	-	-	320	600	1060	1970	4340	3870	4950	8740	
108"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2510	7240	5760	7780	15650	
120"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1220	5950	4120	5930	13200	
132"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4350	2540	3920	10820	
144"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2420	-	2000	8330	
SECTION PROPERTIES	I _x	.012	.022	.041	.078	.110	.139/ .190	.272	.348	.547	.703	1.24	3.04	1.66	2.07	3.85
	A	.12	.234	.180	.339	.527	.688/ .484	.715	.938	.902	1.19	1.44	1.94	1.21	1.76	1.59
	Z	.016	.031	.037	.072	.104	.130/ .130	.190	.247	.303	.394	0.577	1.05	1.10	1.38	1.93
	LB/LF	.44	.80	.66	1.23	1.80	2.34/ 1.65	2.44	3.19	3.07	4.10	4.9	6.6	4.1	6.0	5.4



ANEXO A.11: Jet Fan seleccionado IFHT-4-50N

IFHT / IFFT

Ventilador centrífugo de impulso tipo Jet Fan, diseñado para mover grandes volúmenes de aire en estacionamientos y túneles.

Modelo IFHT capacitados para trabajar inmersos a 400°C / 2h y 300 °C / 2h para extracción de humos en caso de emergencias y para reducción de los niveles de contaminación en estacionamientos subterráneos.

Modelo IFFT diseñados para mover grandes volúmenes de aire contaminados a temperatura ambiente.



Homologado según norma EN12101-3, Certificación nº 0375-CPD-1268



Homologado según norma EN12101-3, Certificación nº 0375-CPD-1085



Consulta la App para conocer el funcionamiento de estos equipos.

CARACTERÍSTICAS

- Fuerza de empuje 50,75 y 100N.
- Hélice de álabes hacia atrás de acero galvanizado, balanceada de acuerdo con la ISO 1940-1 G6.3.
- Carcasa de acero galvanizado, con dos soportes de sujeción.
- Caja de bornes o interruptor de acuerdo a solicitud.
- Rejilla de protección en la aspiración
- Ventilador homologado según norma EN12101-3, para 400 °C/2h y 300 °C/2h.
- Motores trifásicos con índice de protección IP55.
- Temperatura ambiente de trabajo -20°C a 40°C.

APLICACIONES



EXTRACCIÓN DE CONTAMINANTES HABITUALES



DISIPACIÓN DE HUMO



ESTACIONAMIENTOS



TÚNELES DE ACCESO



EXTRACCIÓN DE HUMO EN EMERGENCIA

NOMENCLATURA IFHT

Modelo	Modelo Número de polos	Empuje	Potencia motor KW	Temperatura Motor	Voltaje Motor V	Conexión Eléctrica
IFHT= Alta temperatura	4/8	50	1.5/0.21	3 = 300°C	230	Caja de Bornes = C
	4/8	75	2.5/0.45	4 = 400°C	460	Interruptor 300°C =I3
	4/8	100	2.5/0.45		380	Interruptor 400°C = I4



ANEXO A.12: Inyector axial seleccionado 5HGB800H-HGB-800-1



HGB-T

SP160497SCO579V0-HGB-800-1HP-127V-60HZ-(127-1)



Extractor helicoidal mural HGB-T, marca S&P, modelo SP160497SCO579V0-HGB-800-1HP-127V-60Hz-(127-1), con caudal 10.139 cfm y presión 26,6 Pa. Fabricado con hélices aerodinámicas y eficientes, embocadura embutida en todos los tamaños, con venturi prolongado para reducción de turbulencias, diseño especial de soporte y base motor de gran resistencia, que facilita el mantenimiento, rodamientos de uso industrial a bolas, acabado en pintura en polvo poliéster electroestático, motores trifásicos, totalmente cerrados, con ventilación forzada, eje en acero, calculado con diámetros que superan los parámetros de carga.

Punto requerido

Caudal	10.000 cfm
Presión total	79 Pa
Temperatura	20 °C
Altitud	0 m
Densidad	1,2 Kg / m ³
Frecuencia	60 Hz

Punto de trabajo

Caudal	10.139 cfm
Presión estática	26,6 Pa
Presión dinámica	55 Pa
Presión total	81 Pa
Potencia motor	1
Tensión	127/220
Intensidad máxima (A)	12/5,3
Velocidad ventilador	800 rpm

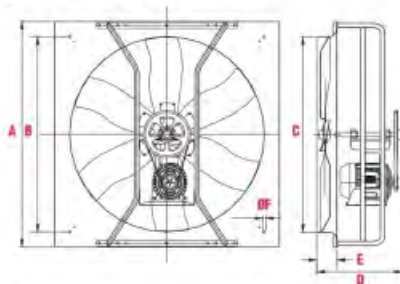
Construcción

Diámetro impulsión	800 mm
Tamaño ventilador	800
Palas	6
Peso	41,00 kg

Características del motor

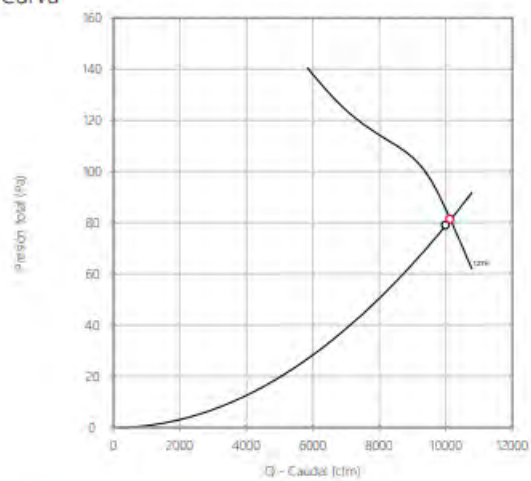
Índice de protección	IP55
Clase motor	B

Dimensiones



A	B	C	D	E	F
1008	835	800	468	90	15,9

Curva



Características acústicas

	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Descarga (LwA)	66	69	76	73	72	70	64	63	80
Descarga LpA @ 1,5m	52	55	61	58	57	55	50	48	66

ANEXO A.13: Extractor de flujo mixto seleccionado QEI- SERIES 300



	QEI - Belt Drive			QEID - Direct Drive		
	Series 100	Series 200	Series 300	FJ	Series 100	Series 300
Volume Range	1,100 - 26,000 cfm (1,870 - 44,170 m ³ /hr)	1,100 - 115,000 cfm (1,870 - 195,390 m ³ /hr)	1,100 - 115,000 cfm (1,870 - 195,390 m ³ /hr)	700 - 3,000 cfm (1,190 - 5,100 m ³ /hr)	1,200 - 18,000 cfm (2,040 - 30,600 m ³ /hr)	700 - 83,000 cfm (1,190 - 141,000 m ³ /hr)
Static Pressure	Up to 3 in. wg (750 Pa)	Up to 5 in. wg (1,245 Pa)	Up to 8.5 in. wg (2,120 Pa)	Up to 1 in. wg (250 Pa)	Up to 3.25 in. wg (810 Pa)	Up to 10.5 in. wg (2,370 Pa)
Airflow	Supply and Exhaust	Supply and Exhaust	Supply and Exhaust	Exhaust	Supply and Exhaust	Supply and Exhaust
Construction	Welded	Welded	Welded	Bolted	Bolted	Welded
Mounting	Mounting Brackets	Mounting Brackets	Mounting Brackets	Flange Mounted	Mounting Brackets	Mounting Brackets
Environment	Indoor / Outdoor	Indoor / Outdoor	Indoor / Outdoor	Indoor Only	Indoor / Outdoor	Indoor / Outdoor
Roof Upblast		✓	✓			✓
UL 705 - Electrical	✓	✓	✓	✓	✓	✓
UL Emergency Smoke Evacuation		✓	✓			✓
UL 762 Restaurant Exhaust		✓	✓			
Spark Resistance	A, B or C	B or C	B or C	A		
Aluminum Construction	✓					
Seismic Certification			✓			
Assembly Vibration Tested*	✓ 0.2 in./sec	0.15 in./sec	0.15 in./sec		✓ 0.2 in./sec	0.08 in./sec

ANEXO A.14: Sensor de monóxido COS-231M-RL-220



INFORMACION DEL PRODUCTO
Especificaciones:

Tipo de Sensor:	Electroquímico (por proceso de oxidación).
Alimentación Eléctrica:	Opción 220: 100-240Vac, 50/60HZ, 3VA. Opción 024: 24Vdc/ac, 3VA.
Dimensiones:	Ancho: 90mm, Alto: 85mm, Profundidad: 41mm
Condiciones de Operación:	-20° a 50°C, 15% a 90% HR.
Rango:	0.5 - 500ppm.
Tiempo de Respuesta:	<50 segundos.
Expectativa de vida:	5 Años aprox.
Cobertura Típica del Sensor:	700m ² (7500ft ²), o 15m (50ft) Radio.
Salida Relay:	Relay 1: 25ppm, 35ppm o 50ppm (Seleccionable) Relay 2: Alarma en función al tiempo y Concentración.
Capacidad del Relay:	2 x RELAY 5A,250VAC (RESISTIVO).
Borneras de Conexión:	Bloque de Terminales de tornillo (12-22 AWG)
Circuito de Protección:	Modbus: Limitador de Sobre corriente, Sobrevoltaje y corto circuito.
Salida de Comunicaciones:	1 x MODBUS RTU RS-485, 9600 ó 19,200 bps, Formato: 8N1.
Opción de Temperatura y Humedad:	Rango de Temperatura: -40° a 80°C +/-0.5°C. Rango de Humedad: 0-100%HR. +/-2%



ANEXO A.15: Motor eléctrico trifásico W22 IE3 Premium Efficiency - 60 Hz - IV polos – 380 V. Características eléctricas


Potencia		Carcasa	Par nominal (kgfm)	Corriente con rotor trabado I _L /I _n	Par con rotor trabado T _L /T _n	Par máximo T _b /T _n	Momento de inercia J (kgm ²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB(A)	380 V						Corriente nominal I _n (A)	
								Caliente	Frio			% de la potencia nominal							
												Rendimiento			Factor de potencia				
kW	HP										RPM	50	75	100	50	75	100		
IV Polos																			
0,12	0,16	63	0,068	5,0	2,7	3,3	0,0005	48	106	6,7	48	1715	53,0	61,0	64,0	0,45	0,56	0,65	0,438
0,18	0,25	63	0,103	5,0	2,5	3	0,0006	39	86	7,7	48	1710	62,0	67,0	70,0	0,49	0,61	0,70	0,558
0,25	0,33	63	0,142	5,5	2,9	3,2	0,0007	30	66	8,2	48	1710	66,0	71,0	73,0	0,46	0,59	0,69	0,754
0,37	0,5	71	0,213	5,1	2,8	2,9	0,0007	52	114	8,5	47	1690	71,5	74,5	75,0	0,49	0,62	0,70	1,07
0,55	0,75	71	0,320	4,9	2,8	2,9	0,0008	43	95	11,5	47	1675	75,5	77,0	77,5	0,49	0,62	0,71	1,52
0,75	1	90S	0,416	7,6	2,6	3,2	0,0049	24	53	18,5	51	1755	80,0	84,0	85,5	0,60	0,72	0,79	1,69
1,1	1,5	L90S	0,610	7,6	2,7	3,2	0,0060	18	40	22,0	51	1755	82,5	85,5	86,5	0,60	0,73	0,80	2,42
1,5	2	L90S	0,832	7,7	2,8	3,3	0,0066	15	33	23,0	51	1755	84,0	86,0	86,5	0,59	0,72	0,80	3,29
2,2	3	100L	1,23	7,6	3,8	3,7	0,0097	24	53	33,0	54	1740	86,6	88,2	89,5	0,59	0,72	0,79	4,72
3	4	112M	1,66	7,8	2,6	3,5	0,0156	27	59	42,0	56	1760	87,2	89,0	89,5	0,58	0,70	0,79	6,45
3,7	5	112M	2,05	7,6	2,4	3,3	0,0181	23	51	44,0	56	1755	88,1	89,3	89,5	0,61	0,74	0,80	7,85
4,5	6	112M	2,51	7,0	2,4	3	0,0180	17	37	44,0	56	1745	88,7	89,5	89,5	0,61	0,74	0,80	9,55
5,5	7,5	132S	3,04	8,4	2,4	3,6	0,0488	16	35	67,0	58	1765	89,9	91,2	91,7	0,63	0,76	0,82	11,1
7,5	10	132S	4,14	8,2	2,3	3,5	0,0563	13	29	72,0	58	1765	90,8	91,6	92,0	0,66	0,78	0,84	14,7
9,2	12,5	132M/L	5,08	8,5	2,4	3,5	0,0676	9	20	86,0	58	1765	91,0	91,8	92,4	0,66	0,78	0,84	18,1
11	15	160M	6,07	7,0	2,5	3	0,1188	15	33	112	64	1765	90,6	92,4	92,7	0,63	0,75	0,81	22,2
15	20	160M	8,23	7,7	3	3,5	0,1471	13	29	133	64	1775	91,6	93,2	93,4	0,64	0,75	0,82	29,8
18,5	25	160L	10,2	7,3	2,7	3,2	0,1813	12	26	148	64	1770	92,4	93,6	93,8	0,64	0,75	0,81	36,9
22	30	180M	12,1	7,2	3	3	0,1919	20	44	176	64	1775	93,0	93,8	94,0	0,68	0,78	0,83	42,8
30	40	200M	16,5	6,6	2,2	2,8	0,3202	22	48	215	66	1775	93,6	94,2	94,4	0,70	0,79	0,84	57,4
37	50	200L	20,3	6,4	2,5	2,7	0,3728	20	44	243	66	1775	94,0	94,5	94,6	0,70	0,80	0,84	70,7
45	60	225S/M	24,6	7,5	2,4	2,8	0,6367	14	31	404	67	1780	94,2	94,7	95,1	0,71	0,80	0,85	84,5
55	75	225S/M	30,1	7,5	2,4	2,8	0,7346	12	26	430	67	1780	94,5	95,0	95,4	0,74	0,83	0,87	101
75	100	250S/M	41,0	7,5	2,5	2,8	1,01	12	26	505	68	1780	94,6	95,2	95,5	0,74	0,83	0,87	137
90	125	280S/M	49,1	7,2	2	2,7	1,87	24	53	683	73	1785	94,7	95,3	95,6	0,75	0,83	0,86	167
110	150	280S/M	60,0	7,9	2,4	2,9	2,33	20	44	753	73	1785	94,8	95,5	95,8	0,75	0,83	0,86	203
132	180	315S/M	71,8	7,4	2,4	2,6	3,00	24	53	958	75	1790	94,5	95,5	96,2	0,74	0,82	0,86	243
150	200	315S/M	81,6	7,8	2,7	2,7	3,55	20	44	1029	75	1790	94,9	95,9	96,2	0,73	0,82	0,86	276
185	250	315S/M	101	7,6	2,4	2,5	3,89	20	44	1072	75	1790	95,3	96,0	96,3	0,75	0,83	0,87	336
200	270	355M/L	109	7,4	2,3	2,4	5,76	25	55	1388	78	1790	95,4	96,1	96,3	0,76	0,83	0,86	367
220	300	355M/L	120	7,3	2,5	2,4	6,30	22	48	1438	78	1790	95,6	96,2	96,4	0,77	0,84	0,87	398
260	350	355M/L	141	7,3	2,3	2,3	7,20	20	44	1519	78	1790	95,8	96,4	96,5	0,78	0,85	0,87	470
300	400	355M/L	163	7,8	2,5	2,4	8,09	12	26	1615	78	1790	95,9	96,4	96,6	0,76	0,84	0,87	542
330	450	355M/L	180	7,8	2,6	2,6	9,51	14	31	1751	78	1790	96,0	96,5	96,7	0,73	0,82	0,86	603
370	500	355M/L	201	7,6	2,7	2,4	11,1	18	40	1916	78	1790	96,3	96,6	96,8	0,74	0,83	0,86	675
400	550	355M/L	218	7,4	2,4	2,4	11,6	15	33	1966	78	1790	96,3	96,6	96,8	0,74	0,83	0,86	731
High-output design																			
132	180	280S/M	72,0	7,6	2,4	2,6	2,56	15	33	781	73	1785	94,8	95,6	95,9	0,76	0,83	0,87	241
150	200	280S/M	81,8	7,6	2,5	2,6	2,85	15	33	828	73	1785	95,2	95,7	96,2	0,74	0,83	0,86	276

**ANEXO A.16: Motor eléctrico monofásico W22 IE3 Premium Efficiency - 60 Hz - IV
polos – 220 V. Características eléctricas**

Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (kgfm)	Corriente con rotor trabado I/In	Par con rotor trabado TV/Tn	Par Máximo Tb/Tn	Momento de Inercia J (kgm ²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)	Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	RPM	% de la potencia nominal						Corriente nominal In (A)	
kW	HP											Rendimiento			Factor de potencia			220 V	440 V
												50	75	100	50	75	100		
II Polos																			
0,12	0,16	63	0,034	5,9	2,0	2,9	0,0002	6	10,0	50	3490	35,8	44,4	49,9	0,52	0,60	0,68	1,61	0,804
0,18	0,25	63	0,050	6,1	2,2	2,8	0,0003	6	10,7	50	3490	42,3	50,8	55,8	0,51	0,61	0,69	2,12	1,06
0,25	0,33	63	0,071	4,6	2,4	2,4	0,0002	6	10,7	50	3440	48,0	55,6	59,0	0,51	0,62	0,72	2,68	1,34
0,37	0,5	71	0,102	7,2	2	3,1	0,0005	7	13,0	60	3520	51,7	59,9	64,2	0,50	0,61	0,72	3,64	1,82
0,55	0,75	80	0,152	7,7	2,1	3	0,0008	10	16,5	65	3525	60,7	69,8	72,8	0,77	0,85	0,91	3,78	1,89
0,75	1	80	0,208	7,0	2,3	2,7	0,0009	9	17,5	65	3520	60,0	68,0	71,0	0,75	0,83	0,88	5,46	2,73
1,1	1,5	90S	0,303	9,1	2,1	2,9	0,0020	9	24,0	69	3535	70,8	77,2	79,8	0,77	0,85	0,89	7,04	3,52
1,5	2	90L	0,415	8,4	2,1	2,7	0,0022	8	25,0	69	3520	68,4	74,9	77,7	0,81	0,87	0,90	9,76	4,88
2,2	3	100L	0,608	8,7	2,3	3	0,0064	9	37,0	72	3525	72,7	79,2	81,8	0,92	0,95	0,98	12,5	6,25
3	4	112M	0,830	8,0	2,6	2,5	0,0081	6	45,0	72	3520	76,4	81,6	82,1	0,91	0,94	0,95	17,5	8,74
3,7	5	112M	1,02	8,0	2,6	2,5	0,0091	6	47,0	72	3525	80,0	82,3	83,4	0,91	0,96	0,97	20,8	10,4
5,5	7,5	132S	1,52	8,5	2,8	2,9	0,0234	5	69,0	72	3515	73,7	79,7	82,4	0,92	0,95	0,96	31,6	15,8
7,5	10	132M	2,07	8,0	2,2	3,1	0,0223	8	70,0	72	3525	79,9	82,4	83,9	0,83	0,90	0,94	43,2	21,6
9,2	12,5	132M	2,55	8,8	1,9	3	0,0285	7	79,0	72	3515	85,0	87,5	88,3	0,94	0,96	0,97	48,8	24,4
11	15	132M/L	3,04	8,5	2,2	3,5	0,0339	6	92,0	72	3530	83,7	87,2	88,5	0,89	0,94	0,95	59,4	29,7
Carcasas opcionales																			
1,5	2	90S	0,415	8,4	2,1	2,7	0,0022	8	25,0	69	3520	68,4	74,9	77,7	0,81	0,87	0,90	9,76	4,88
2,2	3	90L	0,612	7,5	2	2,1	0,0028	7	27,5	69	3500	72,0	77,0	78,5	0,94	0,95	0,96	13,3	6,63
IV Polos																			
0,12	0,16	63	0,068	5,0	2,3	2,0	0,0007	7	9,8	47	1730	32,5	40,0	44,2	0,50	0,58	0,66	1,87	0,935
0,18	0,25	71	0,101	5,0	2,8	2,1	0,0008	15	12,7	55	1730	49,6	55,2	60,4	0,43	0,51	0,61	2,22	1,11
0,25	0,33	71	0,141	5,0	2,6	2,2	0,0009	18	13,2	55	1725	45,1	51,0	56,2	0,46	0,53	0,64	3,16	1,58
0,37	0,5	80	0,207	6,8	2,1	2,5	0,0030	10	17,8	55	1740	51,7	61,0	66,1	0,76	0,83	0,88	2,89	1,45
0,55	0,75	80	0,308	5,8	2,1	2,2	0,0034	9	18,5	55	1740	54,0	63,5	68,0	0,71	0,81	0,87	4,23	2,12
0,75	1	90S	0,414	8,5	2,3	2,4	0,0055	7	24,0	58	1765	55,8	65,1	70,3	0,82	0,87	0,91	5,32	2,66
1,1	1,5	90L	0,607	9,5	2	2,3	0,0069	6	28,0	58	1765	61,0	69,5	74,0	0,88	0,93	0,95	7,12	3,56
1,5	2	100L	0,837	7,2	2,5	2,2	0,0093	10	37,0	58	1745	66,0	73,0	77,0	0,87	0,90	0,93	9,51	4,76
2,2	3	112M	1,23	7,7	2,9	2,7	0,0156	8	46,0	60	1745	65,0	74,0	77,0	0,79	0,87	0,90	14,4	7,22
3	4	112M	1,68	8,0	2,7	2,4	0,0184	6	49,0	60	1740	69,5	75,0	77,0	0,96	0,97	0,98	18,1	9,04
3,7	5	132S	2,06	7,3	3,4	2,5	0,0329	6	65,0	63	1750	71,0	77,9	80,5	0,84	0,91	0,93	22,5	11,3
5,5	7,5	132M	3,06	7,7	3,2	2,5	0,0457	6	80,0	63	1750	75,6	81,0	83,0	0,88	0,92	0,94	32,0	16,0
7,5	10	132M*	4,20	6,7	2,6	2,4	0,0486	6	82,0	63	1740	77,9	82,5	84,0	0,92	0,94	0,95	42,7	21,3
9,2	12,5	132M*	5,15	6,5	2,2	2,3	0,0543	6	88,0	63	1740	78,0	83,2	84,0	0,85	0,91	0,93	53,6	26,8

ANEXO A.17: Métodos de instalación para conductores eléctricos

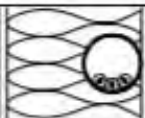
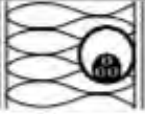

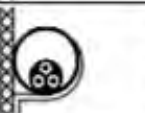
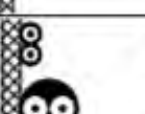


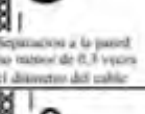
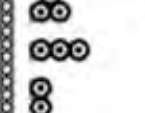
(NTP 370.301 - IEC 60364-5-523)

Item Nro.	Métodos de instalación	Descripción	Referencia del método de instalación a ser usado para obtener la capacidad de corriente nominal (ver Tabla 3)
1	2	3	4
1	 Local	Conductores aislados o cables unipolares en tubo en una pared ¹⁾	A1
2	 Local	Cables multipolar en tubo en una pared ¹⁾	A2
3	 Local	Cable multipolar directamente en una pared ¹⁾	A1
4	 Local	Conductores aislados o cables unipolares dentro de un tubo sobre una pared de madera o mampostería o espaciada menos de 0,3 veces el diámetro del tubo desde la pared.	B1
5	 Local	Cable multipolar dentro de un tubo sobre una pared de madera o mampostería, o espaciada menos de 0,3 veces el diámetro del tubo desde la pared	B2

¹⁾ El revestimiento interior de la pared tiene una conductancia térmica de no menos de 10 W/m².K

ANEXO A.17: Métodos de instalación para conductores eléctricos (continuación)

Tabla 3
Métodos de instalación referenciales
 (NTP 370.301 - IEC 60364-5-523)

Método referencial de instalación		Tabla y columna						Factor de temperatura ambiente	Factor de reducción por agrupamiento
		Capacidades de corriente nominal para circuitos simples				Factor de temperatura ambiente	Factor de reducción por agrupamiento		
		Aislamiento PVC		Aislamiento XLPE / EPR					
		Número de conductores		2	3	2	3		
1	2	3	4	5	6	7	8		
	Conductores aislados dentro de un tubo empotrado en una pared	A1	Tabla 2 Col. 2	Tabla 2 Col. 3	Tabla 2 Col. 14	Tabla 2 Col. 15	Tabla 5A	Tabla 5C	
	Cable multipolar en un tubo empotrado dentro de una pared	A2	Tabla 2 Col. 4	Tabla 2 Col. 5	Tabla 2 Col. 16	Tabla 2 Col. 17	Tabla 5A	Tabla 5C	
	Conductores aislados dentro de un tubo sobre una pared de madera	B1	Tabla 2 Col. 6	Tabla 2 Col. 7	Tabla 2 Col. 18	Tabla 2 Col. 19	Tabla 5A	Tabla 5C	
	Cable multipolar dentro de un tubo sobre una pared de madera	B2	Tabla 2 Col. 8	Tabla 2 Col. 9	Tabla 2 Col. 20	Tabla 2 Col. 21	Tabla 5A	Tabla 5C	
	Cable unipolar o multipolar sobre una pared de madera	C	Tabla 2 Col. 10	Tabla 2 Col. 11	Tabla 2 Col. 22	Tabla 2 Col. 23	Tabla 5A	Tabla 5C	
	Cable multipolar en ductos enterrados	D	Tabla 2 Col. 12	Tabla 2 Col. 13	Tabla 2 Col. 24	Tabla 2 Col. 25	Tabla 5A	Tabla 5D	
 <small>Separación a la pared no menor de 0,3 veces el diámetro del cable</small>	Cable multipolar al aire libre	E	Cobre Tabla 1		Cobre Tabla 1		Tabla 5A	Tabla 5C	
 <small>Separación a la pared no menor de un diámetro del cable</small>	Cables unipolar, en contacto al aire libre	F	Cobre Tabla 1		Cobre Tabla 1		Tabla 5A	Tabla 5C	
 <small>Separación entre cables</small>	Cables unipolar, espaciados al aire libre	G	Cobre Tabla 1		Cobre Tabla 1		Tabla A	-	

ANEXO A.18: Factores de reducción por grupos de más de 1 circuito o más de cable multipolar

A ser usados con las capacidades de corriente nominal de las Tablas 1 y 2

Ítem	Disposición (en cuanto a cables)	Número de circuitos o cables multipolar												A usarse con capacidades de corriente nominal, referencia
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
1	Agrupados en el aire, sobre una superficie empotrados o encerrados	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	4 a 8 Métodos A a F
2	En una capa sobre una pared, piso o bandeja no perforada	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	No más factores de reducción para más de nueve circuitos o cables multipolares		4 a 7 Método C	
3	En una capa fijado directamente bajo un techo de madera	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
4	En una capa sobre una bandeja perforada horizontal o vertical	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				
5	En una capa sobre un soporte de bandeja de escaleras, o listones, etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				
													8 a 9 Métodos E y F	

ANEXO A.19: Factores de corrección para temperatura ambiente distinta de 30°C para cables al aire y distinta a 20°C para cables en ductos enterrados

Aplicables a las columnas de la 2 a la 16 de las Tablas 1 y 2

Temperatura ambiente [°C]	PVC		XLPE o EPR		MI - Mineral * (al aire)	
	Cables al aire	Cables en ductos enterrados	Cables al aire	Cables en ductos enterrados	Cubierta de PVC o desnudo y expuesto al contacto 70°C	Desnudo no expuesto al contacto 105 °C
10	1,22	1,10	1,15	1,07	1,26	1,14
15	1,17	1,05	1,12	1,04	1,20	1,11
20	1,12	1,00	1,08	1,00	1,14	1,07
25	1,06	0,95	1,04	0,96	1,07	1,04
30	1,00	0,89	1,00	0,93	1,00	1,00
35	0,94	0,84	0,96	0,89	0,93	0,96
40	0,87	0,77	0,91	0,85	0,85	0,92
45	0,79	0,71	0,87	0,80	0,87	0,88
50	0,71	0,63	0,85	0,76	0,67	0,84
55	0,61	0,55	0,76	0,71	0,57	0,80
60	0,50	0,45	0,71	0,65	0,45	0,75
65	-	-	0,65	0,60	-	0,70
70	-	-	0,58	0,53	-	0,65
75	-	-	0,50	0,46	-	0,60
80	-	-	0,41	0,38	-	0,54
85	-	-	-	-	-	0,47
90	-	-	-	-	-	0,40
95	-	-	-	-	-	0,32

* Para temperaturas ambiente mayores, también se puede consultar al fabricante.



ANEXO A.20: Capacidad de corrientes en A de conductores aislados NH80

TABLA DE DATOS TECNICOS NH - 80

CALIBRE CONDUCTOR	Nº HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
							AIRE	DUCTO
mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
1.5	7	0.52	1.50	0.7	2.9	20	18	14
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	31	30	24
4	7	0.84	2.44	0.8	4.0	46	35	31
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	65	50	39
10	7	1.33	3.99	1.0	6.0	110	74	51
16	7	1.69	4.67	1.0	6.7	167	99	68
25	7	2.13	5.88	1.2	8.3	262	132	88
35	7	2.51	6.92	1.2	9.3	356	165	110
50	19	1.77	8.15	1.4	11.0	480	204	138
70	19	2.13	9.78	1.4	12.6	678	253	165
95	19	2.51	11.55	1.6	14.8	942	303	198
120	37	2.02	13.00	1.6	16.2	1174	352	231
150	37	2.24	14.41	1.8	18.0	1443	413	264
185	37	2.51	16.16	2.0	20.2	1809	473	303
240	37	2.87	18.51	2.2	22.9	2368	528	352
300	37	3.22	20.73	2.4	25.5	2963	633	391

ANEXO A.21: Factores de demanda para acometidas y alimentadores para predios según tipo de actividad

Tipo de actividad	Watts por metro cuadrado	Factor de demanda %	
		Conductores de acometida	Alimentadores
Bodegas, Restaurantes, Oficina :	30	100	100
· Primeros 930 m ²	50	90	100
· Sobre 930 m ²	50	70	90
Industrial, Comercial	25	100	100
Iglesias	10	100	100
Garajes	10	100	100
Edificios de Almacenaje	5	70	90
Teatros	30	75	95
Auditorios	10	80	100
Bancos	25	100	100
Barberías y Salones de Belleza,	30	90	100
Clubes	20	80	100
Cortes de Justicia	20	100	100
Hospedajes	15	80	100
Viviendas	--	100	100

ANEXO A.22: Dimensión de la tubería de protección para los conductores según su sección nominal

(Ver Regla 070-1014 (5))

Máximo número de conductores de una dimensión en tuberías pesadas o livianas
600 V - Sin cubierta

Tipo de aislamiento	Sección nominal [mm ²]	Diámetro exterior [mm]	Dimensión de la tubería pesada o liviana												
			15 [mm]	20 [mm]	25 [mm]	35 [mm]	40 [mm]	55 [mm]	65 [mm]	80 [mm]	90 [mm]	105 [mm]	115 [mm]	130 [mm]	155 [mm]
			(1/2)*	(3/4)*	(1)*	(1 1/4)*	(1 1/2)*	(2)*	(2 1/2)*	(3)*	(3 1/2)	(4)*	(4 1/2)*	(5)*	(6)*
TW, THWN, THHN, XHHW, XHHW-2	2,5	4,0	6	10	17	30	41	68	98	151	200	200	200	200	200
	4	4,5	4	8	14	24	33	54	77	119	160	200	200	200	200
	6	5,0	3	7	11	19	26	44	62	97	129	167	200	200	200
	10	6,5	1	4	6	11	15	26	37	57	76	98	124	155	200
	16	8,5	1	1	3	6	9	15	21	33	44	57	72	90	131
	25	9,5	1	1	3	5	7	12	17	26	36	46	58	72	105
	35	11	1	1	1	4	5	9	13	20	26	34	43	54	78
	50	13	1	1	1	2	3	6	9	14	19	24	31	38	56
	70	15	1	1	1	1	2	4	7	11	12	18	23	29	42
	95	17	1	1	1	1	1	3	5	8	11	14	18	23	32
	120	20	1	1	1	1	1	2	4	6	8	10	13	16	23
	150	21	1	1	1	1	1	1	3	5	7	9	11	14	21
	185	23	1	1	1	1	1	1	2	4	6	8	10	12	18
	240	26	1	1	1	1	1	1	1	3	4	6	7	10	14
	300	29	1	1	1	1	1	1	1	2	3	5	6	7	11
400	32	1	1	1	1	1	1	1	1	3	4	5	6	9	
500	35	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	7	

ANEXO A.23: Máximo porcentaje de llenado de conductos y tuberías eléctricas

Máximo porcentaje de llenado de conductos y tuberías eléctricas

Tipos de conductor o cable	Número de conductores o cables multiconductores				
	1	2	3	4	Más de 4
Sin cubierta de plomo	53	31	40	40	40
Con cubierta de plomo	55	30	40	38	35



ANEXO A.24: Espesor de aislamiento de conductores según el tipo de conductor y sección nominal

Parte B - Conductores aislados con compuesto termoplástico y termoestable hasta e inclusive 450/750 V

(NTP 370.253 Conductores eléctricos. Cables aislados con compuesto termoplástico y termoestable para tensiones hasta e inclusive 450/750 V)

Sección nominal del conductor [mm ²]	Clase de conductor NTP 370.250	Espesor de aislamiento						
		THWN - 2 (90)			THW (75)		XHHW - 2 (90)	
		Aislamiento de PVC		Cubierta de Nailon	Promedio mínimo [mm]	Mínimo en un punto [mm]	Promedio mínimo [mm]	Mínimo en un punto [mm]
		Promedio mínimo [mm]	Mínimo en un punto [mm]	Mínimo en un punto [mm]				
2,5	1	0,38	0,33	0,10	0,76	0,69	0,76	0,69
2,5	2	0,38	0,33	0,10	0,76	0,69	0,76	0,69
4	1	0,38	0,33	0,10	0,76	0,69	0,76	0,69
4	2	0,38	0,33	0,10	0,76	0,69	0,76	0,69
6	1	0,51	0,46	0,10	0,76	0,69	0,76	0,69
6	2	0,51	0,46	0,10	0,76	0,69	0,76	0,69
10	1	0,76	0,69	0,13	1,14	1,02	1,14	1,02
10	2	0,76	0,69	0,13	1,14	1,02	1,14	1,02
16	2	0,76	0,69	0,13	1,52	1,37	1,14	1,02
25	2	1,02	0,91	0,15	1,52	1,37	1,14	1,02
35	2	1,02	0,91	0,15	1,52	1,37	1,14	1,02
50	2	1,27	1,14	0,18	2,03	1,83	1,40	1,27
70	2	1,27	1,14	0,18	2,03	1,83	1,40	1,27
95	2	1,27	1,14	0,18	2,03	1,83	1,40	1,27
120	2	1,52	1,37	0,20	2,41	2,18	1,65	1,47
150	2	1,52	1,37	0,20	2,41	2,18	1,65	1,47
185	2	1,52	1,37	0,20	2,41	2,18	1,65	1,47
240	2	1,52	1,37	0,20	2,41	2,18	1,65	1,47
300	2	1,78	1,60	0,23	2,79	2,51	2,03	1,83
400	2	1,78	1,60	0,23	2,79	2,51	2,03	1,83
500	2	1,78	1,60	0,23	2,79	2,51	2,03	1,83

Nota 1: Dimensiones sujetas a tolerancias de fabricación.

Nota 2: Se recomienda verificar información actualizada con los fabricantes de estos productos y de preferencia que posean certificación ISO.

ANEXO A.25: Diámetro de conductores en cables según su sección nominal

(Tomado de la NTP 370.250 *Conductores para cables aislados*)

Sección [mm ²]	Conductores en cables para instalaciones fijas		Conductores flexibles (Clases 5 y 6) [mm]
	Sólido (Clase 1) [mm]	Cableado (Clase 2) [mm]	
0,5	0,9	1,1	1,1
0,75	1,0	1,2	1,3
1	1,2	1,4	1,5
1,5	1,5	1,7	1,8
2,5	1,9	2,2	2,6
4	2,4	2,7	3,2
6	2,9	3,3	3,9
10	3,7	4,2	5,1
16	4,6	5,3	6,3
25	5,7	6,6	7,8
35	6,7	7,9	9,2
50	7,8	9,1	11,0
70	9,4	11,0	13,1
95	11,0	12,9	15,1
120	12,4	14,5	17,0
150	13,8	16,2	19,0
185	---	18,0	21,0
240	---	20,6	24,0
300	---	23,1	27,0
400	---	26,1	31,0
500	---	29,2	35,0
630	---	33,2	39,0
800	---	37,6	---
1 000	---	42,2	---

ANEXO A.26: Sección transversal de tubería según porcentaje de llenado

Diámetro nominal [mm]	Diámetro nominal [pulgada]	Diámetro interno [mm]	Áreas de la sección transversal según porcentaje de llenado [mm ²]							
			100%	55%	53%	40%	38%	35%	31%	30%
15	1/2	15,8	196	108	104	78	75	69	61	59
20	3/4	20,9	344	189	182	138	131	120	107	103
25	1	26,6	558	307	296	223	212	195	173	167
35	1 1/4	35,1	965	531	511	386	367	338	299	289
40	1 1/2	40,9	1 313	722	696	525	499	460	407	394
50	2	52,5	2 165	1 191	1 147	866	823	758	671	649
65	2 1/2	62,7	3 089	1 699	1 637	1 236	1 174	1 081	958	927
80	3	77,9	4 770	2 624	2 528	1 908	1 813	1 670	1 479	1 431
90	3 1/2	90,1	6 380	3 509	3 381	2 552	2 424	2 233	1 978	1 914
100	4	102,3	8 213	4 517	4 353	3 285	3 121	2 874	2 546	2 464
115	4 1/2	114,5	10 288	5 658	5 453	4 115	3 909	3 601	3 189	3 086
130	5	128,2	12 907	7 099	6 841	5 163	4 905	4 517	4 001	3 872
155	6	154,1	18 641	10 253	9 880	7 456	7 084	6 524	5 779	5 592



ANEXO A.27: Interruptor termomagnético C120N Schneider

Hoja de datos del producto Características

A9N18367

Interruptor termomagnético C120N 3P 100A 10kA



Principal

Gama de producto	C120
Gama	Act 9
Product name	C120
Tipo de producto o componente	Miniature circuit-breaker
Device short name	C120N
Aplicación de dispositivo	Distribution
Poles description	3P
Number of protected poles	3
[In] rated current	100 A at 30 °C
Tipo de red	AC
Trip unit technology	Thermal-magnetic
Curve code	C
Breaking capacity	6 kA Icu conforme a EN/IEC 60947-2 - 440 V AC 50/60 Hz 10 kA Icu conforming to EN/IEC 60947-2 - 380...415 V AC 50/60 Hz 20 kA Icu conforming to EN/IEC 60947-2 - 220...240 V AC 50/60 Hz 10 kA Icu conforme a EN/IEC 60947-2 - <= 375 V CC 10000 A Icn conforming to EN/IEC 60898-1 - 230...400 V AC 50/60 Hz
Suitability for isolation	Yes conforming to IEC 60947-2

Complementos

Frecuencia de red	50/60 Hz
[Uc] tensión de funcionamiento nominal	<= 375 V CC 220...240 V AC 50/60 Hz 380...415 V AC 50/60 Hz 440 V AC 50/60 Hz 230...400 V AC 50/60 Hz
Magneto: tripping limit	5...10 x In
[Ics] rated service breaking capacity	4.5 kA a 75 % of breaking cap. conforme a EN/IEC 60947-2 - 440 V AC 50/60 Hz 7.5 kAa 75 % of breaking cap. conforming to EN/IEC 60947-2 - 380...415 V AC 50/60 Hz 15 kAa 75 % of breaking cap. conforming to EN/IEC 60947-2 - 220...240 V AC 50/60 Hz 7500 Aa 75 % of breaking cap. conforming to EN/IEC 60898-1 - 230...400 V AC 50/60 Hz 10 kAa 100 % of breaking cap. conforming to EN/IEC 60947-2 - <= 375 V DC
Limitation class	3 conforming to EN/IEC 60947-2
[U] rated insulation voltage	500 V AC 50/60 Hz conforming to EN/IEC 60947-2
[Uimp] rated impulse withstand voltage	6 kV conforming to EN/IEC 60947-2
Contact position indicator	Yes
Control type	Toggle
Señalizaciones en local	ON/OFF indication
Mounting mode	Clip-on
Mounting support	35 mm symmetrical DIN rail
Comb busbar and distribution block compatibility	NO
9 mm pitches	9

ANEXO A.28: Contactor ABB AF09-30-10-41

PRODUCT-DETAILS

AF09-30-10-41

AF09-30-10-41 24-60V50/60HZ Contactor



General Information

Extended Product Type	AF09-30-10-41
Product ID	15BL137001R4110
EAN	3471523110007
Catalog Description	AF09-30-10-41 24-60V50/60HZ Contactor
Long Description	The AF09-30-10-41 is a 3 pole - 690 V IEC or 600 UL contactor with 1 built-in auxiliary contact and screw terminals, controlling motors up to 4 kW / 400 V AC (AC-3) or 5 hp / 480 V UL and switching power circuits up to 25 A (AC-1) or 25 A UL general use. Thanks to the AF technology, the contactor has a wide control voltage range (24-60 V 50/60 Hz), managing large control voltage variations, reducing panel energy consumptions and ensuring distinct operations in unstable networks. Furthermore, surge protection is built-in, offering a compact solution. AF contactors have a block type design, can be easily extended with add-on auxiliary contact blocks and an additional wide range of accessories.

Ordering

Minimum Order Quantity	1 piece
Customs Tariff Number	85364900

Popular Downloads

Instructions and Manuals	15BC101027M6801
--------------------------	-----------------

Technical

Number of Main Contacts NO	3
Number of Main Contacts NC	0
Number of Auxiliary Contacts NO	1
Number of Auxiliary Contacts NC	0
Standards	IEC 60947-1 / 60947-4-1 and EN 60947-1 / 60947-4-1, UL 508, CSA C22.2 N° 14
Rated Operational Voltage	Auxiliary Circuit 690 V Main Circuit 690 V
Rated Frequency (f)	Auxiliary Circuit 50 / 60 Hz Main Circuit 50 / 60 Hz
Conventional Free-air Thermal Current (I _{th})	acc. to IEC 60947-4-1, Open Contactors q = 40 °C 35 A acc. to IEC 60947-5-1, q = 40 °C 16 A
Rated Operational Current AC-1 (I _e)	(690 V) 40 °C 25 A (690 V) 60 °C 25 A (690 V) 70 °C 22 A
Rated Operational Current AC-3 (I _e)	(415 V) 60 °C 9 A (440 V) 60 °C 9 A (500 V) 60 °C 9.5 A (690 V) 60 °C 7 A (380 / 400 V) 60 °C 9 A (220 / 230 / 240 V) 60 °C 9 A
Rated Operational Current AC-3e (I _e)	(415 V) 60 °C 9 A (440 V) 60 °C 9 A (500 V) 60 °C 9.5 A (690 V) 60 °C 7 A (380 / 400 V) 60 °C 9 A (220 / 230 / 240 V) 60 °C 9 A
Rated Operational Power AC-3 (P _e)	(400 V) 4 kW (415 V) 4 kW (440 V) 4 kW (500 V) 5.5 kW (690 V) 5.5 kW (380 / 400 V) 4 kW (220 / 230 / 240 V) 2.2 kW
Rated Operational Power AC-3e (P _e)	(415 V) 4 kW (440 V) 4 kW (500 V) 5.5 kW (690 V) 5.5 kW (380 / 400 V) 4 kW (220 / 230 / 240 V) 2.2 kW
Rated Operational Current AC-15 (I _e)	(500 V) 2 A (690 V) 2 A (24 / 127 V) 6 A (220 / 240 V) 4 A (400 / 440 V) 3 A
Rated Short-time Withstand Current Low Voltage (I _{cw})	at 40 °C Ambient Temp, in Free Air, from a Cold State 10 s 150 A at 40 °C Ambient Temp, in Free Air, from a Cold State 15 min 35 A at 40 °C Ambient Temp, in Free Air, from a Cold State 1 min 60 A at 40 °C Ambient Temp, in Free Air, from a Cold State 1 s 300 A at 40 °C Ambient Temp, in Free Air, from a Cold State 30 s 60 A for 0.1 s 140 A for 1 s 100 A
Maximum Breaking Capacity	cos phi=0.45 (cos phi=0.35 for I _e > 100 A) at 440 V 250 A cos phi=0.45 (cos phi=0.35 for I _e > 100 A) at 690 V 106 A

ANEXO A.29: Guardamotor ABB AF09-30-10-41

MS116 Guardamotores

0.10 a 32 A – con protección térmica y electromagnética

2



MS116-16



MS116-25



MS116-0.16-HKF1-11



MS116-32-HKF1-11

Descripción

MS116 es una gama compacta y económica para la protección del motor de hasta 15 kW (400 V) / 32 A en un ancho de 45 mm. Otras funciones son la desconexión incorporada, la compensación de temperatura, el mecanismo de desconexión libre y el mango giratorio con indicador de la posición del interruptor. El guardamotor es apto para aplicaciones monofásicas y trifásicas. Se pueden obtener como accesorios contactos auxiliares y de señalización, unidades auxiliares de disparo, barras de bus trifásicas, bloques de entrada de alimentación y dispositivos de bloqueo para la protección contra cambios sin autorización. Son adecuados para toda la gama MS116/MS132/MS165.

Detalles de pedido

Potencia nominal de funcionamiento	Rango de configuración	Capacidad de interrupción de cortocircuito I _{sc}	Configuración de corriente nominal de cortocircuito instantánea I _n	Tipo	Código de pedido	Peso (1 pieza)
400 V AC-3	A	kA	A			kg
0.03 ¹⁾	0.16 ... 0.16	50	2.00 ²⁾	MS116-0.16	1SAM25000R1001	0.225
0.06	0.16 ... 0.25	50	3.10 ²⁾	MS116-0.25	1SAM25000R1002	0.225
0.09	0.25 ... 0.40	50	5.00 ²⁾	MS116-0.4	1SAM25000R1003	0.225
0.18	0.40 ... 0.63	50	7.90 ²⁾	MS116-0.63	1SAM25000R1004	0.225
0.25	0.63 ... 1.00	50	12.5 ²⁾	MS116-1.0	1SAM25000R1005	0.225
0.55	1.00 ... 1.60	50	20.0 ²⁾	MS116-1.6	1SAM25000R1006	0.265
0.75	1.60 ... 2.50	50	31.3 ²⁾	MS116-2.5	1SAM25000R1007	0.265
1.50	2.50 ... 4.00	50	50.0	MS116-4.0	1SAM25000R1008	0.265
2.20	4.00 ... 6.30	50	78.8	MS116-6.3	1SAM25000R1009	0.265
4.00	6.30 ... 10.0	50	150	MS116-10	1SAM25000R1010	0.265
5.50	8.00 ... 12.0	25	180	MS116-12	1SAM25000R1012	0.265
7.50	10.0 ... 16.0	16	240	MS116-16	1SAM25000R1011	0.265
7.50	16.0 ... 20.0	10	300	MS116-20	1SAM25000R1013	0.310
11.0	20.0 ... 25.0	10	375	MS116-25	1SAM25000R1014	0.310
15.0	25.0 ... 32.0	10	480	MS116-32	1SAM25000R1015	0.310
0.03 ²⁾	0.16 ... 0.16	50	2.00 ²⁾	MS116-0.16-HKF1-11	1SAM25000R1001	0.240
0.06	0.16 ... 0.25	50	3.10 ²⁾	MS116-0.25-HKF1-11	1SAM25000R1002	0.240
0.09	0.25 ... 0.40	50	5.00 ²⁾	MS116-0.4-HKF1-11	1SAM25000R1003	0.240
0.18	0.40 ... 0.63	50	7.90 ²⁾	MS116-0.63-HKF1-11	1SAM25000R1004	0.240
0.25	0.63 ... 1.00	50	12.5 ²⁾	MS116-1.0-HKF1-11	1SAM25000R1005	0.240
0.55	1.00 ... 1.60	50	20.0 ²⁾	MS116-1.6-HKF1-11	1SAM25000R1006	0.280
0.75	1.60 ... 2.50	50	31.3 ²⁾	MS116-2.5-HKF1-11	1SAM25000R1007	0.280
1.50	2.50 ... 4.00	50	50.0	MS116-4.0-HKF1-11	1SAM25000R1008	0.280
2.20	4.00 ... 6.30	50	78.8	MS116-6.3-HKF1-11	1SAM25000R1009	0.280
4.00	6.30 ... 10.0	50	150	MS116-10.0-HKF1-11	1SAM25000R1010	0.280
5.50	8.00 ... 12.0	25	180	MS116-12.0-HKF1-11	1SAM25000R1012	0.280
7.50	10.0 ... 16.0	16	240	MS116-16.0-HKF1-11	1SAM25000R1011	0.280
7.50	16.0 ... 20.0	10	300	MS116-20-HKF1-11	1SAM25000R1013	0.326
11.0	20.0 ... 25.0	10	375	MS116-25-HKF1-11	1SAM25000R1014	0.326
15.0	25.0 ... 32.0	10	480	MS116-32-HKF1-11	1SAM25000R1015	0.326

Nota: deberán seleccionarse siempre guardamotores para que la corriente real del motor esté dentro del rango de configuración.

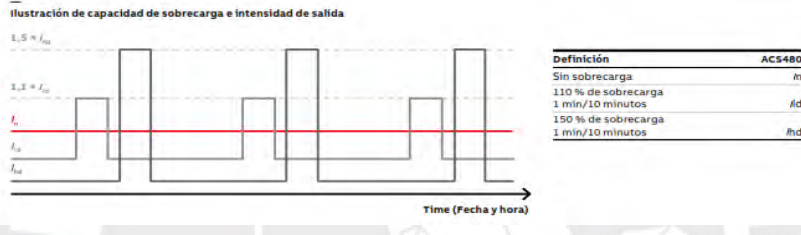
¹⁾ La información es válida para los productos fabricados después la semana 34 de 2014.

²⁾ 690 V

ANEXO A.30: Variador de frecuencia ABB ACS480-04-050A-4

Convertidores para montaje en pared, ACS480-04 (rango de tensión de alimentación trifásica de 380-480 V)														
Tipo de bastidor	Tamaño de bastidor	Trifásica, $U_n = 400$ V					Trifásica, $U_n = 480$ V							
		Especificaciones nominales		Uso en carga ligera			Uso intensivo		Intensidad de salida máx.		Uso en carga ligera		Uso intensivo	
		P_n (kW)	I_n (A)	I_{L1} (A)	P_{L1} (kW)	I_{L2} (A)	P_{L2} (kW)	I_{max} (A)	I_{L1} (A)	P_{L1} (hp)	I_{L2} (A)	P_{L2} (hp)	I_{max} (A)	
ACS480-04-02A7-4	R1	0,75	2,6	2,5	0,75	1,8	0,55	3,2	2,1	1,0	1,6	0,75	2,9	
ACS480-04-03A4-4	R1	1,1	3,3	3,1	1,1	2,6	0,75	4,7	3,0	1,5	2,1	1,0	3,8	
ACS480-04-04A1-4	R1	1,5	4,0	3,8	1,5	3,3	1,1	5,9	3,5	2,0	3,0	1,5	5,4	
ACS480-04-05A7-4	R1	2,2	5,6	5,3	2,2	4,0	1,5	7,2	4,8	3,0	3,4	2,0	6,1	
ACS480-04-07A3-4	R1	3,0	7,2	6,8	3,0	5,6	2,2	10,1	6,0	3,0	4,0	2,0	7,2	
ACS480-04-09A5-4	R1	4,0	9,4	8,9	4,0	7,2	3,0	13,0	7,6	5,0	4,8	3,0	8,6	
ACS480-04-12A7-4	R2	5,5	12,6	12,0	5,5	9,4	4,0	16,9	11,0	7,5	7,6	5,0	13,7	
ACS480-04-01BA-4	R3	7,5	17,0	16,2	7,5	12,6	5,5	22,7	14,0	10,0	11,0	7,5	19,8	
ACS480-04-02BA-4	R3	11,0	25,0	23,8	11,0	17,0	7,5	30,6	21,0	15,0	14,0	10,0	25,2	
ACS480-04-03BA-4	R4	15,0	32,0	30,5	15,0	25,0	11,0	45,0	27,0	20,0	21,0	15,0	37,8	
ACS480-04-039A-4	R4	18,5	38,0	36,0	18,5	32,0	15,0	57,6	34,0	25,0	27,0	20,0	48,6	
ACS480-04-04BA-4	R4	22,0	45,0	42,8	22,0	38,0	18,5	68,4	40,0	30,0	34,0	25,0	61,2	
ACS480-04-050A-4	R4	22,0	50,0	48,0	22,0	45,0	22,0	81,0	42,0	30,0	40,0	30,0	72,0	

Especificaciones nominales	
I_n	Intensidad nominal disponible continuamente sin capacidad de sobrecarga a 50 °C.
P_n	Potencia típica del motor en uso sin sobrecarga.
Uso en carga ligera	
I_{L1}	Intensidad continua que permite el 110 % de I_n durante 1 minuto cada 10 minutos a 50 °C.
P_{L1}	Potencia típica del motor en uso con carga ligera.
Uso intensivo	
I_{L2}	Intensidad continua que permite el 150 % de I_n durante 1 minuto cada 10 minutos a 50 °C.
P_{L2}	Potencia típica del motor en uso con trabajo pesado.
Intensidad de salida máxima	
I_{max}	Intensidad de salida máxima Disponible durante 2 segundos en el arranque. Las especificaciones se aplican a temperaturas ambiente de 50 °C. Para derrates a altitudes, temperaturas o frecuencias de conmutación superiores, véase el Manual de hardware, código de documento: 3AXD5000047392



Conexión a la red		Límites ambientales	
Rango de tensión y potencia	Trifásica, de 380 a 480 V, +10 %/-15 % de 0,75 hasta 22 kW	Temperatura ambiente	
Frecuencia	de 48 a 63 Hz	Transporte	de -40 a +70 °C
Conexión del motor		Almacenamiento	de -40 a +70 °C
Tensiones	de 0 a U_n trifásica	Zona de funcionamiento	de -10 a +50 °C. No requiere derrateo, no se permite escarcha. +50 °C - +60 °C con derrateo
Frecuencia	de 0 a 599 Hz	Método de refrigeración	
Control de motores	Control escalar y vectorial	Refrigerado por aire	Aire limpio seco
Control de velocidad	Precisión estática: 20 % del deslizamiento nominal del motor. Precisión dinámica: 1 % segundos con escalón de par del 100 %	Altitud	Sin derrateo 0 a 1.000 m Con derrateo del 1 %/100 m de 1.000 a 2.000 m Por encima de 2.000 m Para conocer los valores correctos de derrateo, contacte con su representante habitual de ABB.
Cumplimiento de normativas del producto		Humedad relativa	del 5 % al 95 %, sin condensación
	CE Directiva de Baja Tensión 2014/34/UE, EN 61800-5-1:2007 Directiva de Máquinas 2006/42/CE, EN 61800-5-2:2007 Directiva CEM 2014/30/UE, EN 61800-3:2004 + A1:2012 Directiva RoHS 2011/65/UE Sistema de control de calidad ISO 9001 Sistema medioambiental ISO 14001 Directiva 2002/96/CE relativa a residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) Directiva RoHS 2011/65/UE Certificado TÜV de seguridad funcional Certificación UL, cUL	Grado de protección	IP20
CEM según EN 61800-3 2004 + A1: 2012		Seguridad funcional	Safe Torque Off (STO según EN 61800-5-2) IEC 61508 ed2: SIL 3, IEC 61511: SIL 3, IEC 62061: SIL CL 3, EN ISO 13849-1: PL e
Convertidor de frecuencia instalado en armario ACS480 con filtro de categoría C2 integrado de serie		Niveles de contaminación	No se permite polvo conductor
		Almacenamiento	IEC 60721-3-1 Clase 1C2 (gases químicos), Clase 1S2 (partículas sólidas)*
		Transporte	IEC 60721-3-2, Clase 2C2 (gases químicos), Clase 2S2 (partículas sólidas)*
		Funcionamiento	IEC 60721-3-3, Clase 3C2 (gases químicos), Clase 3S2 (partículas sólidas)*

*C = sustancias químicamente activas
S = sustancias mecánicamente activas

Dimensiones

ACS480 IP20								
Bastidores	Altura ^{a)}	Anchura	Profundidad	Peso				
	(mm)	(in)	(mm)	(in)	(kg)	(lb)		
R1	223,0	8,78	73,0	2,87	207,1	8,15	1,77	3,90
R2	223,0	8,78	96,6	3,80	207,1	8,15	2,35	5,19
R3	220,0	8,66	171,7	6,76	207,1	8,15	3,52	7,76
R4	240,0	9,45	260,0	10,24	212,1	8,35	6,02	13,28

^{a)} Altura ocupada por el convertidor con abrazadera

