



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”**



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

IV PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**DISEÑO DE “UN SISTEMA DE VENTILACION CON
DETECCIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO)”
PARA SÓTANOS DE ESTACIONAMIENTO DE UN
EDIFICIO MULTIFAMILIAR**

Presentado Por:

Br. Esvin Salazar Mera

LAMBAYEQUE – PERÚ

2017



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”**



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

IV PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**DISEÑO DE “UN SISTEMA DE VENTILACION CON
DETECCIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO)” PARA
SÓTANOS DE ESTACIONAMIENTO DE UN EDIFICIO
MULTIFAMILIAR**

Presentado Por:

Br. Esvin Salazar Mera

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: Msc. Juan Antonio Tumialan Hinostroza

SECRETARIO: Msc. Jorge Luis Nombera Temoche

MIEMBRO: Msc. Daniel Carranza Montenegro

ASESOR: Ing. Teobaldo Edgar Julca Orozco

Lambayeque – Perú

2017



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA y ELÉCTRICA

IV PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

TITULO

DISEÑO DE “UN SISTEMA DE VENTILACION CON DETECCIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO)” PARA SÓTANOS DE ESTACIONAMIENTO DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACION.

CAPITULO II: MARCO TEORICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO.

CAPITULO IV: ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO V: DISEÑO DE DUCTOS DEL SISTEMA.

CAPÍTULO VI: SELECCION DE EQUIPOS.

CAPITULO VII: INSTALACIONES ELECTRICAS DEL PROYECTO.

CAPITULO VIII: COSTOS DEL PROYECTO.

CAPITULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CAPITULO X: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

CAPITULO XI: ANEXOS, PLANOS, Y OTROS.

AUTOR: Br. Esvin Salazar Mera

PRESIDENTE

SECRETARIO

MIEMBRO

ASESOR

Lambayeque – Perú

2017

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo hasta con mi vida.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar a cada uno de los que son parte de mi familia a mi PADRE Domingo Salazar, mi MADRE Orfelinda Mera; a mis hermanos; por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora. Por último a mi esposa quien me apoyo en todo momento, Mary Carmen De La Cruz.

RESUMEN

El presente trabajo tiene por finalidad realizar diseño de un sistema de ventilación mecánica para un estacionamiento subterráneo que consta de tres niveles y que pertenecen a un edificio multifamiliar. El objetivo principal del diseño del sistema ventilación mecánica es de mantener la concentración de monóxido de carbono en el ambiente subterráneo por debajo de 25 ppm, que según el Código Internacional ACGIH Conferencia Estadounidenses de Higienistas Industriales del Gobierno TLV-TWA, es el valor de concentración máxima permitida para la exposición continua de un trabajador en cualquier periodo de 8 horas; y con la IMC Código Internacional de Mecánica, que recomienda este valor cuando se monitorea el CO en una estructura de estacionamiento. En el Capítulo I, se indicará las características del proyecto, los contaminantes presentes y su CMP en el medio ambiente; la ventilación y los diversos sistemas que la componen. Los ventiladores, perteneciente a las Turbomáquinas, equipos representativos en el sistema de ventilación mecánica tendrán un diseño que tienen como principio la ventilación general por depresión, con 05 rejillas de extracción en cada nivel de estacionamiento. Para cada nivel del estacionamiento será diseñado un sistema de detección de monóxido de carbono.

El caudal necesario para ventilar cada nivel será de 9,756 l/s para el primer sótano, 10,365 l/s para el segundo sótano y 10,975 l/s para el tercer sótano, siguiendo el método recomendado por la Asociación Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE). Las dimensiones de los ductos se calcularon manteniendo la caída de presión por fricción constante de 0.65 Pa/m y manteniendo la velocidad del aire por debajo del límite recomendado por autores especializados. Se calcularon las caídas de presión, siendo la de mayor caída la que se produce en el sistema de ductos de cada nivel de 630.60 Pa en el primer sótano, 682.10 Pa en el segundo y 745.90 Pa en el tercero. Se seleccionaron los ventiladores para que trabajen a las condiciones de caudal y presión dadas anteriormente, siendo todos ellos ventiladores centrífugos; También se seleccionaron los motores eléctricos que accionan a los ventiladores, se seleccionó el sistema de transmisión por fajas para entregar la potencia a las velocidades del ventilador requeridas. El circuito de mando y potencia para que arranquen los motores ha sido diseñado para que utilice el método estrella triangulo, cuando alguno de los sensores de monóxido de carbono detecte una concentración de 25 ppm en cada uno de los niveles del estacionamiento. Además, se dimensionaron los conductores eléctricos, y los elementos de protección, adecuados para alimentar a los motores eléctricos según lo estipulado por el Código Nacional de Electricidad.

Palabras clave: Sistema de extracción de co, Sistema de ventilación, Extracción mecánica.

ABSTRACT

The present work has a multifunctional design that facilitates teamwork. The main objective of the design of the system is the concentration of carbon monoxide in the underground environment below 25 ppm, which according to the International Code ACGIH American Conference of Industrial Hygienists of the Government TLV-TWA, is the maximum concentration value allowed for the continuous exposure of a worker in any 8-hour period; and with the IMC International Mechanical Code, which recommends this value when monitoring the CO in a parking structure. In Chapter I, the characteristics of the project, the contaminants present and their CMP in the environment will be indicated; the ventilation and the different systems that compose it. The fans, belonging to the Turbomachinery, representative equipment in the mechanical ventilation system have a design that has as principle the general ventilation by depression, with 05 exhaust grilles in each level of parking. For each level of service, a carbon monoxide detection system was designed.

The flow required to ventilate each level is 9,756 l / s for the first basement, 10,365 l / s for the second and 10,975 l / s for the third floor, following the recommended method for the American Association of Heating Engineers, Refrigeration and Air Conditioning (ASHRAE). The dimensions of the ducts were calculated maintaining the pressure drop by constant friction of 0.65 Pa / m and keeping the air velocity below the limit recommended by specialized authors. The pressure drops were calculated, being the one with the highest drop produced in the duct system of each level of 630.60 Pa on the first floor, 682.10 Pa in the second and 745.90 Pa in the third. The fans were selected to work at the flow and pressure conditions given above, all of them being centrifugal fans; Also selected were the electric motors that drive the fans, the belt transmission system was selected to deliver the power at the required fan speeds. The control and power circuit to start the engines has been designed to use the triangle star method, when carbon monoxide sensors detect a concentration of 25 ppm at each of the parking levels. In addition, the electrical conductors and the protective elements suitable for feeding the electric motors were stipulated according to the provisions of the National Electricity Code.

Keywords: Co extraction system, ventilation system, mechanical extraction.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
ÍNDICE.....	V
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACION.	
EL PROYECTO.....	2
1.1 Realidad problemática.....	2
1.2 Justificación de la investigación.....	2
1.3 Objetivo principal.....	3
1.4 Formulación del Problema.....	3
1.5 Objetivos Específicos.....	3
1.6 Hipotesis.....	3
1.7 Ubicación Características.....	3
1.8 Característica del ambiente.....	4
1.8.1 El aire.....	4
1.8.2 Contaminantes del aire.....	5
1.9 La Seguridad y Salud Laboral.....	8
1.9.1 Máxima concentración de CO en el aire.....	10
CAPITULO II: MARCO TEORICO.	
VENTILACION.....	13
2.1 Concepto.....	13
2.2 Funciones de la Ventilación.....	14
2.3 Aparatos de medición en la ventilación.....	14
2.4 Sistemas de ventilación.....	16
2.4.1 Según el Medio de distribución del aire.....	16
2.4.1.1 Ventilación natural.....	16
2.4.1.2 Ventilación mecánica.....	16
2.4.2 Según la fuente de contaminación.....	17
2.4.2.1 Ventilación general.....	17

2.4.2.2 Ventilación exhaustiva localizada.....	19
2.4.3 Según los equipos utilizados.....	20
2.4.3.1 Por Sobrepresión.....	20
2.4.3.2 Por Depresión.....	21
2.4.3.3 Mixta.....	21
2.5 Control al nivel de CO.....	21

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO.

LOS VENTILADORES.....	23
3.1 Clasificación.....	25
3.1.1 Los Ventiladores axiales.....	25
3.1.2 Los Ventiladores centrífugos.....	29
3.2 Las Leyes de los ventiladores.....	33
3.3 Selección de los ventiladores.....	34

CAPÍTULO IV: ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.

DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACION DEL PROYECTO.....	36
4.1 Determinación del Sistema de ventilación.....	37
4.2 Caudal de ventilación.....	40
4.2.1 Metodología para el cálculo del caudal de ventilación.....	40
4.2.1.1 Método del caudal de aire recomendado.....	40
4.2.1.2 Método de renovación de aire.....	41
4.2.1.3 Método para la determinación del caudal según ASHRAE.....	42
4.2.2 Cálculo del caudal de ventilación.....	44
4.2.2.1 Recopilación de Información.....	45
4.2.2.1.1 El número de vehículos en operación en hora de Máxima influencia.....	45
4.2.2.1.2 La tasa de emisión promedio de monóxido de carbono en el estacionamiento.....	45
4.2.2.1.3 Tiempo promedio de operación del vehículo en un Estacionamiento.....	47
4.2.2.1.4 Concentración de monóxido de carbono máxima	

Admisible.....	47
4.2.2.2 La Tasa de generación de CO monóxido de carbono.....	48
4.2.2.2.1 La Tasa de generación de CO máxima.....	48
4.2.2.2.2 Tasa de generación normalizada.....	48
4.2.2.3 Caudal mínimo de aire.....	49
4.2.2.4 Caudal de aire real.....	50
 CAPITULO V: DISEÑO DE DUCTO DEL SISTEMA.	
DISEÑO DE DUCTOS.....	52
5.1 Conceptos fundamentales de diseño.....	52
5.1.1 El Flujo laminar y turbulento.....	52
5.1.2 La Ecuación de Bernoulli.....	55
5.1.3 La Resistencia del fluido.....	56
5.1.3.1 Pérdidas por fricción.....	57
5.1.3.2 Las Pérdidas dinámicas.....	58
5.1.3.3 Ecuación de Darcy-Weisbach.....	59
5.2 Método de diseño de ductos según ASHRAE.....	59
5.3 Diseño de la Ruta del sistema de ductos.....	60
5.4 Velocidad del aire.....	61
5.5 Selección de las Rejillas de extracción.....	63
5.6 Dimensionamiento de ductos.....	65
5.6.1 Métodos de dimensionamiento.....	65
5.6.1.1 Método dinámico.....	65
5.6.1.2 Método de fricción equivalente.....	65
5.6.2 Cálculo de secciones de ducto.....	66
5.7 Caídas de presión.....	70

5.7.1 Pérdidas por fricción.....	71
5.7.2 Pérdidas dinámicas.....	71
5.7.3 Pérdidas totales.....	71
5.8 Consideraciones para la construcción.....	72
5.8.1 Espesor de los ductos.....	72
CAPITULO VI: SELECCIÓN DE EQUIPOS.	
SELECCIÓN DE EQUIPOS.....	74
6.1 Selección del ventilador.....	74
6.2 Selección del motor eléctrico.....	76
6.3 Selección de fajas de transmisión.....	84
6.4 Aislamiento de vibraciones.....	93
6.5 Sensor de monóxido de carbono.....	95
CAPITULO VII: INSTALACIONES ELECTRICAS DEL PROYECTO.	
INSTALACIONES ELECTRICAS.....	97
7.1 Diseño de las Instalaciones eléctricas.....	97
7.2 Distribución de los tableros.....	97
7.3 Dimensionamiento de los conductores.....	97
7.4 Caída de Tensión.....	101
7.5 Elementos de protección.....	103
7.6 Sistema de control y potencia.....	106
CAPITULO VIII: COSTOS DEL PROYECTO.	
COSTOS.....	108
8.1 Costo de ingeniería.....	108
8.2 Costo de equipos y materiales.....	109
8.3 Costo de instalación.....	113
CAPÍTULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	114
CAPÍTULO X: REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA.....	116
CAPÍTULO XI: ANEXOS, PLANOS Y OTROS.....	121
Planos, catálogos, etc.....	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características de los 3 niveles del estacionamiento.....	4
Tabla 1.2 El Aire. Composición de aires limpio y contaminado (reales).....	5
Tabla 1.3 El Aire. Composición del aire seco	5
Tabla 1.4 Principales componentes de los gases de combustión	8
Tabla 1.5 Síntomas por intoxicación crónica reportados Después de exposición al monóxido de carbono.....	10
Tabla 1.6 Máximos niveles de concentración de CO para diferentes tiempos de exposición.....	11
Tabla 1.7 Concentración Máx. Permisible de gases nocivos en centros de trabajo.....	13
Tabla 1.8 Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire MINAM.....	13
Tabla 4.1 Requerimientos de ventilación por vehículo en un estacionamiento	41
Tabla 4.2 Requerimientos de ventilación por unidad de área en un estacionamiento.	41
Tabla 4.3 Renovaciones de aire por hora para estacionamientos cerrados.	42
Tabla 4.4 Porcentaje de vehículos en operación en un estacionamiento en hora punta	45
Tabla 4.5 Emisiones en estacionamientos.....	46
Tabla 4.6 Recopilación de información.....	48
Tabla 4.7 Tasa normalizada de monóxido de carbono CO por cada estacionamiento.....	49
Tabla 4.8 Caudal mínimo de aire por unidad de área	49
Tabla 4.9 Caudal real de ventilación para cada estacionamiento	51
Tabla 5.1 Rugosidad en ductos.....	58
Tabla 5.2 Número de rejillas por estacionamiento.....	60
Tabla 5.3 Velocidad del aire atendiendo al ruido en bocas de captación.....	61
Tabla 5.4 Velocidad del aire atendiendo al ruido en ductos.....	62
Tabla 5.5 Velocidad máxima del aire el sistema de ductos.....	62
Tabla 5.6 Selección de rejillas de extracción.....	64
Tabla 5.7 Condiciones y restricciones para el dimensionamiento de ductos.....	67
Tabla 5.8 Dimensionamiento de ductos secundarios.....	68
Tabla 5.9 Dimensionamiento de ductos principales.....	69
Tabla 5.10 Conversión de ductos circulares a rectangulares en ductos secundarios	69
Tabla 5.11 Conversión de ductos circulares a rectangulares en ductos secundarios	69
Tabla 5.12 Conversión de ductos circulares a rectangulares en ductos principales.....	70
Tabla 5.13 Caídas de presión por estacionamiento.....	72

<i>Tabla 5.14 Espesores de plancha galvanizada.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 5.15 Espesores de plancha galvanizada.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 5.16 Clase de presión en ductos</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 5.17 Determinación del espesor de ductos</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 6.1 Parámetros de selección de ventiladores.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 6.2 Ventiladores seleccionados</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 6.3 Selección del motor eléctrico</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 6.4 Tiempo de aceleración máximo</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 6.5 Cálculo del tiempo de aceleración de los motores</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 6.6 Métodos de arranque para motores trifásicos asíncronos.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 6.7 Valores de Verificación del Tiempo y Torque en el arranque estrella-triángulo</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 6.8 Selección del perfil de faja SPZ</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 6.9 Determinación de los diámetros de las poleas de referencia</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 6.10 Determinación de los diámetros de referencia de las poleas para los tres sótanos..</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 6.11 Parámetros de cálculo para la distancia entre ejes de los tres sótanos</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 6.12 Parámetros en la Determinación del número de fajas trapeciales</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 6.13 Eficiencia del aislador</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 6.14 Tipos y aplicaciones de aisladores</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 6.15 Parámetros de selección de sensores monóxido de carbono</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 6.16 Características del detector de CO, CM-6.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 7.1 Determinación de las secciones del conductor para motores según diferentes requerimientos de servicio.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 7.2 Tiempo de trabajo estimado de los ventiladores en los estacionamiento</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 7.3 Caída de tensión admisible.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 7.4 Caída de tensión en los conductores.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 7.5 Máximo porcentaje de llenado en conductos y tuberías eléctricas.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 7.6 Capacidad nominal de dispositivos de sobrecorrientes para protección de circuitos para motores</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 8.1 Costos del equipo de trabajo</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 8.2 Costo del diseño del sistema</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 8.3 Lista de equipos y dispositivos</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 8.4 Costo total de los dispositivos y equipos seleccionados</i>	<i>110</i>

<i>Tabla 8.5 Lista de materiales para fabricación</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 8.6 Costo total de materiales</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 8.7 Costos de instalación.....</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 8.8 Costo total del proyecto.....</i>	<i>113</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1 El Aire. Composición</i>	<i>4</i>
<i>Figura 1.2 Composición de los gases de escape del motor de un vehículo.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2.1 Tubo de Pitot.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2.1 Tubo de Pitot.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2.3 Tubo de Pitot.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2.1 Ventilación general o ambiental.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2.2 Ventilación exhaustiva localizada</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2.3 Ventilación por Sobrepresión.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2.4 Ventilación por Depresión.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2.5 Ahorro de energía y nivel máximo de CO obtenido Por sistemas de ventilación controlado por el nivel de CO</i>	<i>22</i>
<i>Figura 2.6 Perfiles de movimiento de tres vehículos analizados.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3.1 El Ventilador – Vista exterior</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3.2 El Ventilador – Vista exterior e Interior.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3.3 Ventilador – Principio de Funcionamiento.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3.4 Ventilador axial.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3.5 Ventilador vaneaxial</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3.6 Ventilador vane axial</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3.7 Ventilador Tuboaxial.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3.8 Ventilador Tuboaxial.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3.9 Ventilador helicoidal tubular.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3.10 Ventilador Centrífugo - Despiece.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3.11 Ventilador centrífugo – vista interior.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 3.12 Ventilador centrífugo alabes curvado para atrás.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 3.13 Rotor con álabes de grosor uniforme.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3.14 Rotor con álabes aerodinámicos</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3.15 Rotor con álabes radiales.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3.16 Rotor con álabes radiales modificados</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3.17 Rotor con álabes curvados hacia adelante</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3.18 Curva característica del ventilador.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3.19 Curva característica del ventilado.....</i>	<i>35</i>

<i>Figura 3.20 Curva del sistema de ventilación</i>	<i>35</i>
<i>Figura 3.21 Curvas características del Sistema de Ventilación y el Ventilador</i>	<i>36</i>
<i>Figura 4.1 Flujograma para el Diseño General</i>	<i>37</i>
<i>Figura 4.2 Fundamentos de una ventilación general</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4.3 Metodología recomendada por ASHRAE.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 4.4 Factores de dilución en locales con diferentes tipos de distribución</i>	<i>50</i>
<i>Figura 5.1 Flujos laminar, en transición y turbulento.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 5.2 Ecuación de Bernoulli.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 5.3 Rejilla de aleta ajustable para pared TROX – Serie AF.</i>	<i>63</i>
<i>Figura 5.4 Cambios de presión en el flujo de aire en ductos.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 6.1 Ventilador centrífugo. Serie CF LOREN COOK.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 6.2 Procedimiento para la selección de faja</i>	<i>84</i>
<i>Figura 6.3 Método de selección de aisladores de vibración.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 6.4 Gráfica. Deflexión estática vs frecuencia de vibración</i>	<i>94</i>
<i>Figura 6.5 Aislador de vibraciones Tipo SF.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 6.6 Detector de monóxido de carbono CM-6</i>	<i>96</i>
<i>Figura 7.1 Componentes de un conductor.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 7.2 Tuberías pesadas PVC</i>	<i>104</i>
<i>Figura 7.3 Fusible Diazed o tipo DZ.....</i>	<i>106</i>

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el aumento de la demanda en la venta de autos del parque automotor, se ha incrementado año a año.



Circulación Vehicular en Lima Metropolitana
Fuente: INEI – 2016

Como consecuencia el flujo vehicular en la capital, solo en marzo del 2017 se incrementó en un 11.9% y sigue incrementándose, y es así que durante el año 2016, el parque automotor en el Perú se incrementó a 2.6 millones en venta de vehículos nuevos, alcanzando un incremento de 20%, colocándolo así en los primeros lugares en Sudamérica.

Debido al continuo incremento de vehículos en el Perú, se ha hecho necesario la construcción de nuevos estacionamientos para que se utilice al máximo el espacio disponible. Las edificaciones para estacionamiento y los nuevos edificios con estacionamientos subterráneos están solucionando dicha problemática.

La ausencia de ventilación natural en los estacionamientos, sobre todo en los estacionamientos subterráneos cerrados, está generando alteraciones graves en la calidad del aire en estos ambientes. Esto se debe a las altas concentraciones de monóxido de carbono que se generan por las emisiones de los vehículos. En los estacionamientos subterráneos de varios niveles, no es posible lograr una conexión con el exterior que asegure la evacuación rápida del aire contaminado. Por esta razón es importante el diseño de un sistema de ventilación mecánica dentro los estacionamientos subterráneos, sobre todo en los que no tienen conexión con el exterior.

La elaboración del presente trabajo de tesis tiene como objetivo principal el diseñar un sistema de ventilación mecánica que permita asegurar la calidad del aire dentro del estacionamiento subterráneo de tres niveles en un edificio multifamiliar y para conseguirlo es importante determinar el caudal óptimo para mantener al monóxido de carbono, dentro de límites que no afecten la salud y para ello se tendrá que diseñar los sistemas de extracción, conducción de aire y demás equipos.

CAPÍTULO I

EL PROYECTO

1.1 Realidad Problemática

En estos últimos años, los proyectos de centros comerciales y edificios multifamiliares se han incrementado. Últimamente se están construyendo edificaciones para grandes compañías, así como para centros de Convenciones, grandes edificaciones. Así mismo en la ciudad de Lima y también en muchos departamentos se están construyendo grandes Centros Comerciales y Edificaciones por la creciente demanda de estos. La tendencia va en aumento porque ya no hay espacio para construir y lo que se pretende es que las edificaciones crezcan en forma vertical como consecuencia del incremento de población y negocios en las ciudades de departamentos del país.

Así mismo, el continuo incremento en la cantidad de vehículos en las ciudades del país, hace necesario la construcción de nuevos estacionamientos que aprovechen al máximo el espacio disponible. Los edificios para estacionamientos y los estacionamientos subterráneos han logrado solucionar dicha problemática. Sin embargo, debido a la ausencia de ventilación natural, estos ambientes generan graves problemas en la calidad del aire, afectando a la salud de las personas.

1.2 Justificación de la investigación

Mediante este estudio se pretende asegurar la extracción del monóxido de carbono de los sótanos cerrados para estacionamiento, que tiene la edificación multifamiliar, a través del Diseño de “Un Sistema de Ventilación”, ya que actualmente, en su totalidad los propietarios de la edificación multifamiliar tienen auto y necesitan estacionamiento.

1.3 Objetivo principal

Diseño de “Un Sistema de Ventilación con Detección Automatizado de Monóxido de Carbono (CO)” para Sótanos en Estacionamiento de Vivienda Multifamiliar que asegure la calidad del aire dentro de ellos.

1.4 Identificación del Problema

El más grave problema que se origina en los edificios multifamiliares y centros comerciales con estacionamientos cerrados, sobre todo si tienen muchos niveles, son las altas concentraciones de monóxido de carbono y otros gases tóxicos que se generan debido a las emisiones de los vehículos estacionados y en movimientos, que son altamente nocivos para la salud.

1.5 Objetivos Específicos

- Determinar el diseño del sistema de tuberías por donde será impulsado el aire puro y extraído el aire contaminado para ser expulsado al exterior del(los) sótanos.
- Determinar el caudal óptimo de flujo de aire necesario para que la concentración de monóxido de carbono este por debajo del nivel permisible, indicado por la norma.
- Diseñar las instalaciones electro mecánica que permitan el buen funcionamiento de los equipos.
- Determinar la ubicación de los puntos óptimos de los equipos que aseguren el eficiente intercambio de aire puro y contaminado.

1.6 Hipótesis

Realizar el diseño de “un sistema de ventilación con detección de monóxido de carbono para sótanos de estacionamiento de un edificio multifamiliar.

1.7 Ubicación y Características

Se encuentra ubicado en el distrito de San Borja en la ciudad de Lima. El proyecto consiste en el diseño de un sistema de ventilación en un estacionamiento subterráneo que consta de 3 niveles en un edificio multifamiliar con oficinas comerciales. El horario que estará en funcionamiento el estacionamiento subterráneo será desde las 06:00 am. Hasta las 12:00 pm. El estacionamiento subterráneo del edificio multifamiliar tendrá 3 niveles, cada uno con características diferentes (capacidad, área y altura).

El estacionamiento presenta las siguientes características:

CARACTERÍSTICAS	SIMBOLO	UNIDADES	SOTANO 1	SOTANO 2	SOTANO 3
Nivel	-	m	-4,15	-6,95	-9,75
Área de piso	Ap	M ₂	2 800	2 885	2 875
Altura mínima	Hmin	m	2,2	2,3	2,4
Altura máxima	Hmax	m	3,90	2,55	2,55
Altura promedio	Hprom	m	3,05	2,42	2,47
Volumen	V	M3	10 800	7 600	7 580
Capacidad	No	-	70	82	84

Tabla 1.1 Características de los 3 niveles del estacionamiento
Fuente: Propia

Con referencia al piso terminado, el nivel para la primera planta es será de 0 metros. La altura mínima es igual a la altura de piso a la parte inferior de las vigas. La altura promedio fue determinada asumiendo que las vigas ocupan 10% del espacio entre $H_{\text{máx}}$ y $H_{\text{mín}}$ y cada sótano tendrá su volumen propio calculado a partir de su altura promedio.

1.8 Características del ambiente

1.8.1 El aire

El aire es un gas que envuelve al planeta y que es sumamente imprescindible para la respiración de todos los seres vivos. Está compuesto de una mezcla mecánica de varios gases, que se encuentran prácticamente siempre en la misma proporción y en la que se destaca el gas Nitrógeno que es neutro para la vida animal y el Oxígeno, que es esencial para la vida en todas sus formas.

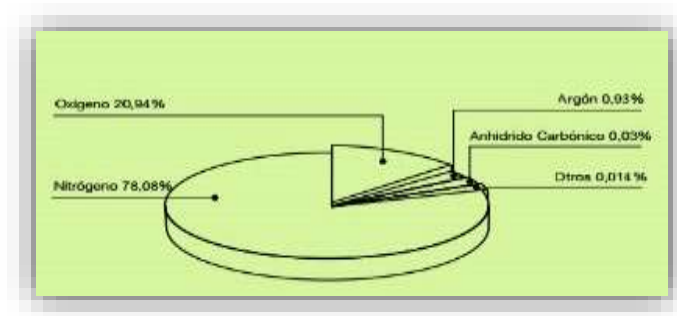


Figura 1.1 El Aire. Composición

Fuente: Soler-Palau, Manual Práctico de Ventilación. 2011:5

La tabla 1.2 muestra la composición de aires reales, el que puede considerarse «limpio» y un ejemplo de «aire contaminado».

	AIRE LIMPIO $\mu\text{g}/\text{m}^3$	AIRE CONTAMINADO $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Óxido de carbono CO	Max. 1000	6,000 a 225,000
Dióxido de carbono CO ₂	Max. 65×10^4	65 a 125×10^4
Anhídrido sulfuroso SO ₂	Max. 25	50 a 5,000
Comp. De Nitrógeno NO _x	Max. 12	15 a 600
Metano CH ₄	Max. 650	650 a 13,000
Partículas	Max. 20	70 a 700

Tabla 1.2 El Aire. Composición de aires limpio y contaminado (reales)

Fuente: Manual Práctico de Ventilación. 2011:5

COMPONENTES DEL AIRE SECO (1'292,800 kg/m ³ a 0°C 769 mm)					
	SÍMBOLO	EN VOLUMEN %	EN PESO %	CONTENIDO EN EL AIRE gr/m ³	PESO ESPECÍFICO Kg/m ³
NITRÓGENO	N ₂	78,08	75,518	976,30	1,2504
OXÍGENO	O ₂	20,94	23,128	299,00	1,428
ARGÓN	Ar	0,934	1,287	16,65	1,7826
ANH. CARBÓNICO	CO ₂	0,0315	$0,4 \times 10^{-8}$	0,62	1,964
OTROS		0,145	0,0178	0,23	-

Tabla 1.3 El Aire. Composición del aire seco

Fuente: Manual Práctico de Ventilación. 2011:5

Se indica «aire seco» y no simplemente «aire». Esto es porque el aire que nos rodea es «aire húmedo», que contiene una cantidad variable de vapor de agua que tiene gran importancia para las condiciones de confort del ser humano.

Además del aire seco y vapor de agua, el aire que respiramos contiene otros elementos que inciden sobre la salud tales como gases, humos, polvo, bacterias.

1.8.2 Contaminantes del aire

En este sentido definimos como contaminante del aire al compuesto o compuestos que alteran nocivamente la concentración normal y la calidad del aire como el estado de la concentración de los diferentes contaminantes atmosféricos en un periodo de tiempo y lugar determinado. Los contaminantes pueden ser emitidos de manera

natural, mediante los procesos de erosión del suelo, descomposición de materia orgánica, incendios forestales y procesos volcánicos, entre otros. Los contaminantes emitidos por causa de las actividades del hombre son conocidos como contaminantes antropogénicos, y en su mayoría son resultado de la quema de combustibles fósiles. En este grupo de contaminantes están los que son producidos por fuentes fijas (establecimientos industriales estacionarios), fuentes de área (conjunto de pequeños establecimientos industriales o comerciales), y fuentes móviles, vehículos automotores, e incluyen aquellos que no circulan por carretera.

Los contaminantes que son emitidos de manera directa, ya sea de una fuente natural o antropogénica, son llamados contaminantes primarios (por ejemplo, el monóxido de carbono y el dióxido de nitrógeno). También existen los llamados contaminantes secundarios, los cuales son resultado de las reacciones químicas entre contaminantes primarios y otros componentes del aire (por ejemplo el ozono, que se forma de la reacción entre el dióxido de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles).

Algunos de los contaminantes del aire, por sus efectos en la salud de la población, han sido normados y se han establecido límites máximos de concentración en el aire del medio ambiente. Estos contaminantes son conocidos como *criterio*. Los contaminantes criterio incluyen: el ozono (O₃), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el plomo (Pb), las partículas suspendidas totales (PST), y las partículas suspendidas menores a 10 y a 2.5 micrómetros (PM₁₀ y PM_{2.5}).

La contaminación que proviene de los motores de combustión interna es una de las que más influye perjudicialmente en la calidad del aire. El proceso de combustión de un motor vehicular da como resultado gases residuales que en su mayoría están compuestos por hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.

La contaminación del aire que es causada por un motor de combustión interna es dañina por los siguientes factores:

- Es generado acelerando y desacelerando el vehículo mediante diferentes cargas y velocidades.

- Existe gran cantidad de diferentes modelos de motor que circulan por las calles.

En la figura 1.2 se puede observar los gases de escape de los automóviles con motores diésel y de gasolina, que son contaminantes del aire. Debido a ello, antes de describir las diferentes sustancias que integran los gases de escape, le mostramos a continuación la composición aproximada de los gases que despiden los motores diésel y de gasolina.

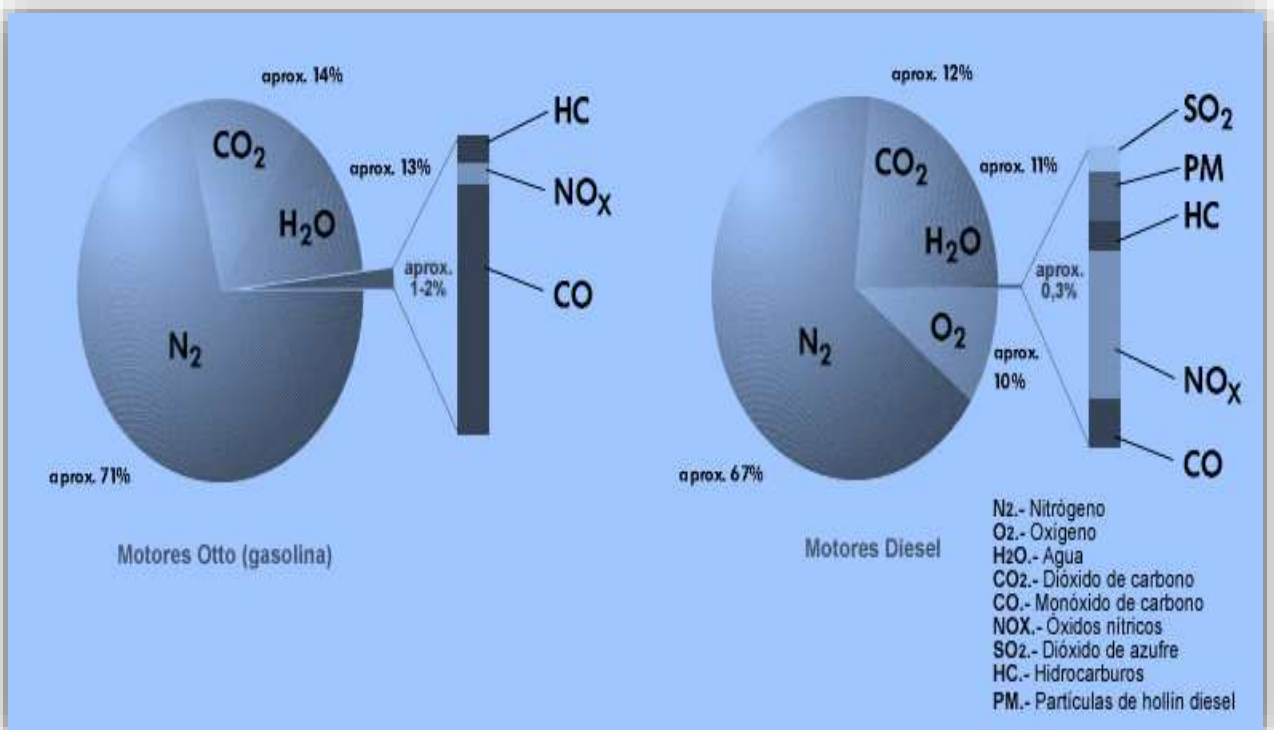


Figura 1.2 Composición de los gases de escape del motor de un vehículo

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/emision-gases-escape.htm>

La tabla 1.4 muestra los componentes de los gases de combustión durante las diferentes etapas de movimiento de un vehículo.

COMPONENTES	VEHICULO PARADO (ppm)	VEHICULO ACELERADO (ppm)	VEHICULO EN MARCHA (ppm)	VEHICULO DESACELERADO (ppm)
Hidrocarburos				
MECH	10 000	6 000	5 000	30 000
MEC	1 500	1 000	800	1 500
Oxido de Nitrogeno				
MECH	30	1 200	650	30
MEC	60	850	240	30
Gases de combustión, scfm				
MECH	6,8	105	25	18
MEC	25	105	77	70
CO, porcentaje				
MECH	5	5	0,6	5
MEC	0,4	0,2	0,03	-
CO2, porcentaje				
MECH	9,5	10	12,5	-
MEC	1	11	7	-

Tabla 1.4 Principales componentes de los gases de combustión

Fuente: (Obert 1973:368)

1.9 Seguridad y Salud Laboral

Tiene como objetivo la aplicación de medidas y desarrollo de actividades necesarias para la prevención de riesgos derivados del trabajo. De esta materia se ocupa el convenio 155 de la OIT sobre seguridad.

Se construye en un medio ambiente de trabajo adecuado, con condiciones de trabajo justas, donde los trabajadores y trabajadoras puedan desarrollar una actividad con dignidad y donde sea posible su participación para la mejora de las condiciones de salud y seguridad.

El concepto de salud fue definido en el preámbulo de la Constitución de la Organización Mundial de la Salud (Nueva York, 1946) como el completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades. También puede definirse como el nivel de eficacia funcional o metabólica de un organismo tanto a nivel micro (celular) como en el macro (social).

En nuestro contexto, la materia contaminante, nociva para la salud es el monóxido de carbono CO. Este gas es un asfixiante químico generado por la combustión incompleta de materiales que contienen carbono. Es un gas imperceptible, sin olor ni sabor, cuyo efecto sobre las personas, aspirado en cantidades importantes, es la reducción progresiva de la capacidad de transporte de oxígeno por la sangre, llegando a producir la muerte en exposiciones prolongadas. Es el tóxico responsable de mayor mortalidad y morbilidad de los países desarrollados y de un gran número de hospitalizaciones (un 50% por intentos de suicidio y un 33% por exposición ocupacional), aunque la mortalidad intrahospitalaria es baja (5%) [5]. Con frecuencia no se realiza un correcto diagnóstico debido a la inespecificidad de los síntomas de intoxicación y a la baja disponibilidad de CO-oxímetros en los Servicios de Urgencias que permiten medir la concentración de COHb en sangre.

La fisiopatología del síndrome coronario agudo en el contexto de una intoxicación por CO responde a tres mecanismos: por un lado, la unión del tóxico a la hemoglobina implica una reducción en la capacidad de transporte sanguíneo de oxígeno; por otro, la presencia de COHb representa una menor cesión de oxígeno hacia los tejidos al desplazar la curva de disociación de la hemoglobina hacia la izquierda y, finalmente, un menor aprovechamiento mitocondrial del oxígeno por inhibir el CO la actividad de la citocromo-oxidasa, contribuyendo todo ello a la hipoxia celular que se manifiesta especialmente en los tejidos más oxígeno-dependientes, como son el SNC y el miocardio. La presencia de otros factores de riesgo cardiovascular (tabaquismo y diabetes mellitus), presentes en este caso, favorecieron sin duda la aparición de isquemia miocárdica.

En el caso de la inhalación de los humos de un incendio, a la presencia de CO puede añadirse la de cianuro y otros muchos gases, que tienen un efecto sinérgico sobre la hipoxia tisular y que podrían favorecer aún más los efectos neurológicos y cardiovasculares y aumentar el riesgo de muerte. En la intoxicación pura por CO, como en el caso que nos ocupa, las concentraciones de COHb pueden correlacionarse relativamente con la gravedad: una COHb del 10-20% significa intoxicación moderada, del 20-40% intoxicación grave y más del 40% intoxicación potencialmente mortal, pero estas cifras pueden ser bajas si ha transcurrido mucho tiempo tras el cese de la exposición al CO o si el paciente ha recibido tratamiento con oxígeno. Hay que tener en cuenta también la producción endógena de CO, por lo que concentraciones de COHb entre 1-3% se consideran normales en cualquier individuo, siendo habitual encontrar una COHb del 4-8% en fumadores.

En los países desarrollados como Estados Unidos, el promedio reportado es de 600 muertes accidentales anuales por envenenamiento con monóxido de carbono. No obstante, una exposición breve de este gas es tolerable y no presenta daños irreversibles en la persona.

Según muestra la tabla 1.5, los síntomas clínicos que se presenta por intoxicación crónica después de una exposición al monóxido de carbono no son específicos y pueden presentar un amplio rango de manifestaciones. Así los síntomas a la exposición no letal al monóxido de carbono pueden ser similares a una enfermedad viral. Un envenenamiento por esta causa puede presentarse junto a otras emergencias médicas, como la inhalación del humo. Se puede realizar un análisis más directo con la medida de los niveles de carboxihemoglobina por espectrofotometría.

% DE CO	CLINICA
< 10%	Asintomático
10 – 20 %	Cefalea, vasodilatación
20 – 30 %	Cefalea, disnea, angor de esfuerzo
30 – 40 %	Alteraciones visuales, debilidad, sopor
40 - 50 %	Sincope, taquicardia, taquipnea
50 – 60 %	Respiración irregular, convulsiones, coma
>60 %	Parada cardiorespiratorio, muerte

Tabla 1.5 Síntomas por intoxicación crónica reportados

Después de exposición al monóxido de carbono

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Intoxicacion_monóxido

1.9.1 Máxima concentración de CO en el aire

La presencia del monóxido de carbono y su concentración máxima, como contaminante del aire, debe ser considerado para el diseño de la ventilación en los estacionamientos cerrados, donde se evalúa dicha concentración utilizando normas internacionales. La tabla 1.6 muestra la máxima concentración admitida de monóxido de carbono a nivel internacional, normas de organismos internacionales como ACGIH, ASHRAE, NIOSH/OSHA, para un tiempo de exposición en horas.

NORMA	TIEMPO (horas)	CO máx. (ppm)
ACGIH	8	25
ASHRAE	8	9
	1	35
CANADA	8	11 a 13
	1	25 a 30
ESPAÑA	8	50
	1	125
FINLANDIA	8	30
	15 min	75
FRANCIA	20 min	100
ICBO	8	50
	1	200
NIOSH /OSHA	8	35
PAISES BAJOS	30 min	200
REINO UNIDO	8	50
	15 min	300

**Tabla 1.6 Máximos niveles de concentración de CO
para diferentes tiempos de exposición
Fuentes: (Krtati 2001:53), (AENOR 1992:2)**

La norma peruana especificada en el RNE EM.030 precisa que la concentración de CO monóxido de carbono no debe superar las 50 partes por millón (Perú, Ministerio de Vivienda 2006:321177).

En la Tabla 1.7 se muestra la concentración Máxima Permisible de gases que son nocivos en los centros de trabajo. Así mismo, en la Tabla 1.8 se muestra los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire según el MINAM

MATERIA	VALOR DE CMA	
	PARTES POR MILLON	Mg/m ³
FENOL	5	19
FLUOR	0,1	0,2
FOSFATINA	0,1	0,15
FOSGENO	0,1	0,4
MERCURIO	0,000007	0,1
METICLORURO	50	105
NITROBENCENO	1	5
OXIDO DE CARBONO	50	55
OZONO	0,1	0,2
PLOMO	0,000017	0,2
SELENIURO DE HIDROGENO	0,05	0,2
SULFURO DE CARBONO	20	60
SULFURO DE HIDROGENO	10	15
TETRACLORO ETILENO	100	670
TETRACLORURO DE CARBONO	10	65
TOLUOL	200	750
TRICLOROETILENO	100	520
XIOL	200	870
YODO	0.1	1

Tabla 1.7 Concentración Máx. Permissible de gases nocivos en centros de trabajo.

Fuente: Ministerio de Vivienda, Norma EM.030 RNE 2006:8

CONTAMINANTES	PERIODO	FORMA DEL ESTANDAR		METODO DE ANALISIS
		VALOR	FORMATO	
DIOXIDO DE AZUFRE	Anual	80	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	365	NE más de 1 vez al año	
PM-10	Anual	50	Media aritmética anual	Separación inercia /filtración (Gravimetría)
	24 hora	150	NE más de 3 vez al año	
MONOXIDO DE CARBONO	8 horas	10 000	Promedio móvil	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	1 hora	30 000	NE más de 1 vez al año	
DIOXIDO DE NITROGENO	Anual	100	Promedio aritmético anual	Quimioluminiscencia (método automático)
	1 hora	200	NE más de 24 veces / año	
OZONO	8 horas	120	NE más de 24 veces / año	Fotometría UV (método automático)
PLOMO	Anual			Método para PM10 (Espectrometría de absorción atómica)
	Mensual	1,5	NE más de 4 veces / año	
SULFURO DE HIDROGENO	24 horas			Fluorescencia UV (método automático)

Tabla 1.8 Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire MINAM

Fuente: DS N° 003-2008-MINAM, 2008

CAPITULO II

VENTILACION

2.1 Concepto

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

Se puede definir también como la técnica que permite sustituir el aire en el interior de un ambiente, debido a su falta de pureza, temperatura inadecuada o una humedad excesiva, por otro aire exterior, con mejores características. La ventilación es útil para controlar el calor, toxicidad y potencial explosividad de un ambiente. Su objetivo principal es mantener la calidad y el movimiento del aire en condiciones convenientes para la protección de la salud de los ocupantes.

Se puede renovar el aire del interior de una edificación mediante extracción o inyección de aire. La finalidad de la ventilación es:

- Asegurar la limpieza del aire.

- Asegurar la salubridad del aire, control de la humedad y concentración de gases o partículas en suspensión.
- Acondicionamiento térmico de la edificación.
- En caso de incendio, la eliminación de los humos.
- Disminución de concentraciones de gases o partículas a niveles permisibles para el normal funcionamiento de las instalaciones.
- Protección de las áreas de agentes patógenos que puedan penetrar vía aire.

2.2 Funciones de la Ventilación

La ventilación ayuda a los seres vivos, incluyendo a las personas, en sus funciones vitales como el suministro de oxígeno para su respiración y a la vez controla el calor que producen y les proporciona condiciones de confort, afectando a la temperatura, la humedad y la velocidad del aire. La ventilación de máquinas o de procesos industriales permite controlar el calor, la toxicidad de los ambientes o la explosividad potencial de los mismos, garantizando en muchos casos la salud de los operarios que se encuentran en dichos ambientes de trabajo.

Para efectuar una ventilación adecuada hay que:

- Determinar la función a realizar (el calor a disipar, los tóxicos a diluir, los sólidos a transportar, etc.).
- Calcular la cantidad de aire necesario.
- Establecer el trayecto de circulación del aire.

2.3 Aparatos de medición en ventilación

En la ventilación, las presiones ABSOLUTAS se miden a partir de la presión cero. Los aparatos usados son los barómetros, utilizados por los meteorólogos, y los manómetros de laboratorio. Las presiones EFECTIVAS se miden a partir de la presión atmosférica. Los aparatos usados son los manómetros industriales. Las presiones Total, Estática y Dinámica son de este tipo. Los aparatos en este caso son los micromanómetros. En los laboratorios de mecánica de fluidos se utilizan los siguientes:

a. Tubo de Pitot

Mide directamente la Presión Total P_t por medio de un tubo abierto que recibe la presión del aire contra su dirección y que conecta su otro extremo a un manómetro. Éste se representa en la Fig. 2.1 por medio de un tubo en U, lleno

de agua, abierto en su otro extremo a la presión atmosférica, y cuyo desnivel del líquido en las dos ramas, señala la Presión Total en mm c.d.a.

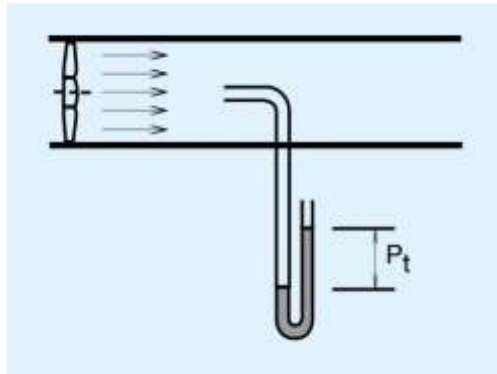


Figura 2.1 Tubo de Pitot

Fuente: (Soler & Palau 2011:8)

b. Sonda de Presión Estática

Mide la Presión Estática P_e por medio de un tubo ciego dirigido contra la corriente de aire y abierto, por unas rendijas, en el sentido de la misma. En el esquema de la fig. 2.2 puede verse conectado, por su otro extremo, a un manómetro de columna de agua, que está abierto a la presión atmosférica.

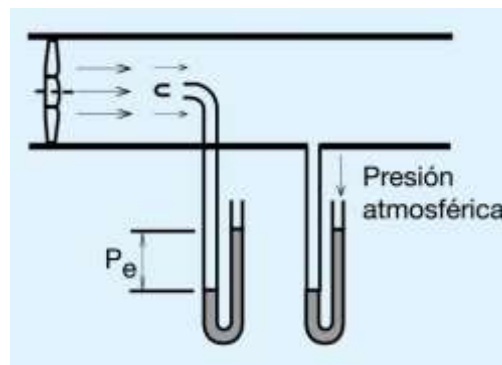


Figura 2.2 Tubo de Pitot

Fuente: (Soler & Palau 2011:8)

c. Tubo de Prandtl

Es una combinación de un Pitot y una Sonda de Presión Estática. El Pitot constituye el tubo central que está abierto a la corriente de aire y está envuelto por una sonda que capta la presión estática. Como los extremos de ambos acaban en un mismo manómetro, se cumple la fórmula, $P_t - P_e = P_d$ con lo que indica la Presión Dinámica. La Fig. 2.3 representa esquemáticamente este instrumento de medida.

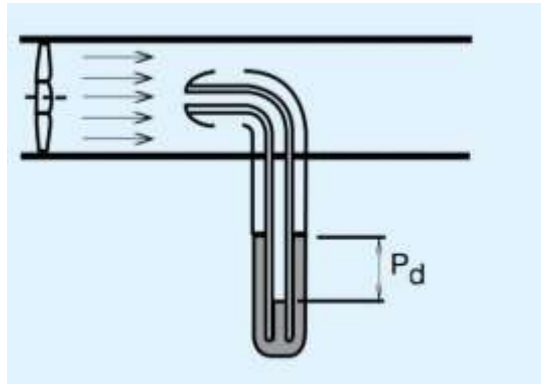


Figura 2.3 Tubo de Pitot

Fuente: (Soler & Palau 2011:8)

2.4 Sistemas de Ventilación

Para tener una ventilación con calidad de aire, en los sótanos, estacionamientos cerrados, es imprescindible el uso de un sistema de ventilación que tenga como objetivo, garantizar la no acumulación de monóxido de carbono con concentraciones peligrosas, en ningún punto de dichos lugares. Esto es importante porque en los sótanos con estacionamiento, debido a la presencia de vapores provenientes de los gases de escape producidos por la combustión de la gasolina de los autos, representan potenciales riesgos de incendio.

Los sistemas de ventilación se clasifican de la siguiente manera:

- a.** Según el medio en que se distribuye el aire.
- b.** Por la fuente de contaminación del aire.
- c.** Según los equipos utilizados.

2.4.1 Según el medio en que se distribuye el aire

2.4.1.1 Ventilación natural

El sistema de ventilación natural se realiza en ambientes con aberturas como puertas, ventanas, chimeneas, etc. La circulación del aire se produce por diferencias de presión y térmicas. Sin embargo, la ventilación puede resultar ser incontrolable, pues las condiciones en que se rige son imprevisibles.

2.4.1.2 Ventilación mecánica o forzada

En el sistema de ventilación mecánica el aire es extraído de los locales, o inyectado en ellos, a través de ventiladores accionados mecánicamente que generan depresiones o sobrepresiones.

2.4.2 Según la fuente de contaminación

2.4.2.1 Ventilación general

Todo lugar necesita ventilarse por medios naturales o mecánicos, para cumplir con dos grandes requerimientos ambientales:

- El primero a fin de proporcionar el oxígeno suficiente para el mantenimiento de la vida, mediante el suministro de aire fresco del exterior en cantidad suficiente.
- El segundo para abatir la contaminación ambiental del lugar causada por la presencia de dióxido de carbono, olores corporales, exceso de calor y humos o vapores producidos por los procesos industriales que se realizan. Sin embargo, las necesidades de ventilación para el suministro de oxígeno, son inferiores a las requeridas para evitar la contaminación.

El oxígeno que requiere una persona sentada es de aproximadamente 0.15 litros/segundo/persona de aire fresco, mientras que para remover los olores y el dióxido de carbono que se exhala se necesitan 5 litros de aire fresco por segundo.

La eliminación de la contaminación ambiental en un lugar de trabajo puede lograrse por varios medios, como el de Sustitución, que consiste en el control en el origen y dilución del contaminante hasta un nivel aceptable. Cuando la Sustitución o el control en el origen son difíciles de efectuar, la Ventilación General es una solución aceptable, si el agente de riesgo no es de alta toxicidad. No obstante, es importante recordar que el valor límite permisible (VLP) no es un factor indicativo de la toxicidad del agente.

Luego la Ventilación General consiste en el ingreso de un determinado caudal de aire exterior limpio, con la finalidad de diluir a los contaminantes y disminuir sus concentraciones a niveles inferiores a los límites permisibles. El aire que se inyecta al ambiente se propaga y se mezcla con los gases o contaminantes presentes para luego ser extraído y expulsado al exterior. Pero de encontrarse una fuente de contaminación concreta, el flujo de aire

hace que este contaminante se esparza por el ambiente antes de ser extraído del mismo.

Este método también es utilizado para controlar la temperatura de los ambientes.



Figura 2.1 Ventilación general o ambiental

Fuente: (Echeverri 2011:18)

Este tipo de ventilación se aplica en ambientes con fuentes de contaminación dispersas, o cuando las fuentes son móviles. Sin embargo, cuando la cantidad de contaminantes y su toxicidad superan ciertos valores, los caudales de aire necesarios no son técnica ni económicamente factibles. La ventilación puede hacerse por medios naturales o mecánicos.

La instalación de un sistema de Ventilación General Mecánica contiene una gran parte de intuición, sin embargo, se pueden enumerar los siguientes principios:

- Es aplicable a contaminantes de baja toxicidad, rápida difusión y pequeñas emisiones.
- Localizar los puntos de extracción lo más cerca posible de las fuentes de contaminación.
- Colocar los puntos de inyección y de extracción de tal manera que se fuerce una corriente general de aire a través de las zonas contaminadas.
- Es preferente utilizar una extracción mecánica y una entrada natural.
- Evitar las zonas “muertas” para la corriente de aire.

- Evitar el reingreso del aire extraído asegurando que la toma de aire para inyección se encuentre alejada de la descarga.

2.4.2.2 Ventilación Exhaustiva localizada

En este tipo de ventilación se captan directamente a los contaminantes en el lugar que se producen y de esa manera se previene su exposición evitando su difusión. La ventaja consiste en que remueve los contaminantes en lugar de diluirlos, lo que requiere menos cantidad de aire. Sin embargo, su diseño resulta más complicado que en el caso de los sistemas de ventilación general.

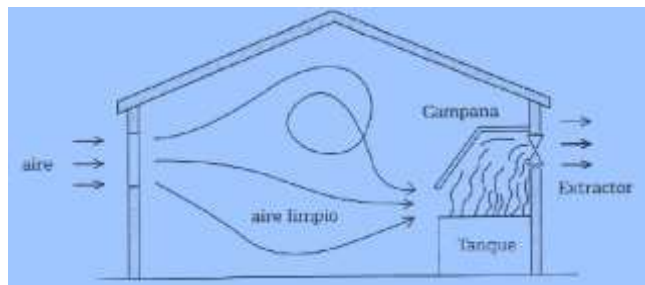


Figura 2.2 Ventilación exhaustiva localizada

Fuente: (Echeverri 2011:18)

Los componentes de una instalación de Ventilación Exhaustiva localizada son:

- a.** El aire: Principal componente proveniente del exterior. Inicialmente estará sin contaminantes para luego mezclarse con ellos debido a la emisión de los vehículos.
- b.** La captación o campana: Donde se atrae el aire con los contaminantes que contenga, para trasladarlo al lugar de descarga. Se utiliza para crear un caudal de aire que capture eficazmente al contaminante. Su utilización se da principalmente en locales industriales y para la extracción de vapores en cocinas.
- c.** La canalización: Red de conductos que llevan el aire hacia un equipo de tratamiento para la retención de contaminantes.
- d.** El filtro: Encargado de la separación de los contaminantes, como polvos y grasas, del aire previo a su descarga al ambiente.

- e. El extractor de aire: Encargado de proporcionar la energía necesaria para transportar el aire junto con los contaminantes a través del sistema de conductos.

2.4.3 Según los equipos utilizados

Los estacionamientos pueden funcionar mediante equipos para sistema de ventilación mecánica:

- a. Con sólo impulsión, que tenga aberturas para la salida de aire.
- b. Con sólo extracción, que tenga aberturas para la entrada de aire.
- c. Un sistema mixto, que tenga impulsión y extracción.

Según lo que se determine, el sistema de ventilación mecánica será:

2.4.3.1 Por Sobrepresión

En el sistema de ventilación por Sobrepresión, el ingreso de aire al local se realiza mediante **inyección mecánica**. La principal ventaja de este sistema es que el aire de aportación viene *directamente del exterior*.

Este sistema de ventilación tiene por finalidad crear una sobrepresión en el local obligando al aire contaminado a salir a través de las rampas de acceso. No obstante, para recorridos largos, puede provocar altas concentraciones de monóxido de carbono, que evacuarán por el ingreso al estacionamiento y al mismo nivel de la calle. Se presenta una gran dificultad al conducir el aire contaminado hacia lugares que no estén frecuentados por los ocupantes.

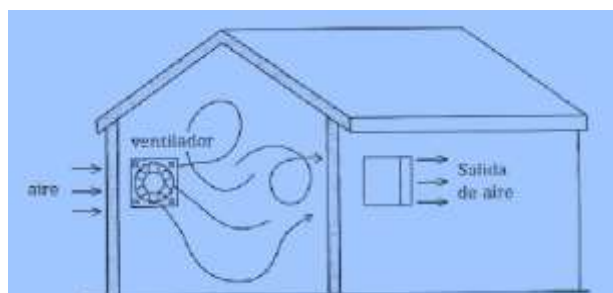


Figura 2.3 Ventilación por Sobrepresión

Fuente: (Echeverri 2011:18)

2.4.3.2 Por depresión

En el sistema de ventilación por Depresión, la salida de los gases se realiza mediante extracción mecánica y la entrada de aire en forma natural, tal que se genera una diferencia de presiones entre la entrada y la salida. Este tipo de sistema es el que más se utiliza porque tiene la ventaja de que se puede controlar la descarga utilizando una red de ductos, hasta un lugar apropiado que este en concordancia con la normativa nacional vigente. La entrada de aire hacia los estacionamientos debe ser preferentemente por puntos independientes de la rampa de acceso porque aquí se producen gases de los vehículos que ingresan y salen.

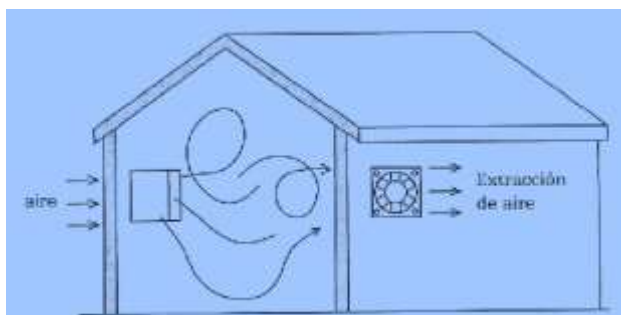


Figura 2.4 Ventilación por Depresión

Fuente: (Echeverri 2011:18)

2.4.3.3 Mixta

En este sistema de ventilación se distribuye el aire por el interior del estacionamiento en una forma óptima, permitiendo que llegue a todos los rincones a través de un proceso de inyección y extracción de aire. Al encontrarse la inyección y extracción trabajando simultáneamente, ambos deberán impulsar o inyectar la misma cantidad de aire, lo que genera un cambio completo del aire en el interior del estacionamiento.

2.5 Control al nivel de monóxido de carbono

Para los estacionamientos se debe respetar los códigos de seguridad y se debe mantener un nivel de contaminantes que sea permisible y aceptables en el aire, sea el sistema de ventilación de tipo mecánico, natural, o ambos. De ser permitido por las normas de la localidad, el flujo de aire proveído en la ventilación, debe tratar de ser variado dependiendo todo esto del nivel de monóxido de carbono para poder

ahorrar energía. Para los estacionamientos de múltiples niveles se debe preferir los sistemas de ventilación con controles individuales.

En la figura 2.5 se puede observar los niveles máximos de monóxido de carbono probados en un estacionamiento (ensayo realizado por Krarti y Ayari en 1998) para tres clases o perfiles de movimiento (figura 2.6) y sus correspondientes controles de ventilación:

- Profile 1: Volumen constante (CV). Según la figura 2.5, el sistema trabaja durante todo el periodo de ocupación.
- Profile 2: Control On/Off. En la figura se indica que los ventiladores se ponen en On/Off dependiendo de la señal que emiten los sensores de nivel de CO.
- Profile 3: En la figura, el control de volumen de aire variable (CVAV), se utilizan ventiladores de dos velocidades o ventiladores axiales con álabes de inclinación variable, todos basados en la señal de los detectores de CO.

También, en la figura 2.5 (savings) se muestra los ahorros de energía en los ventiladores obtenidos por sistemas de control On/Off y control de volumen de aire variable. Así mismo se puede lograr un ahorro significativo de energía utilizando un sistema de ventilación controlado por los niveles de monóxido de carbono, manteniendo la concentración de monóxido de carbono por debajo de los niveles permisibles.

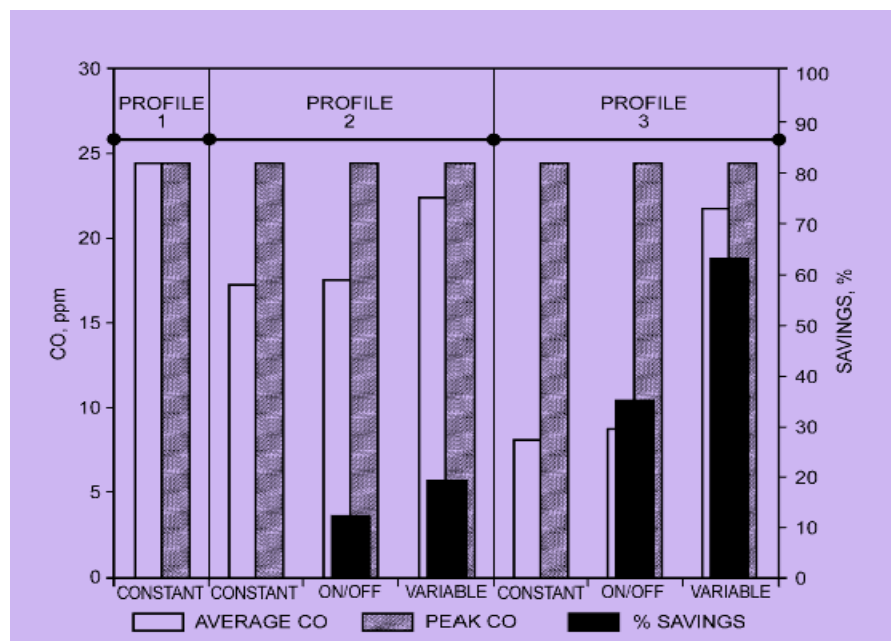


Figura 2.5 Ahorro de energía y nivel máximo de CO obtenido

Por sistemas de ventilación controlado por el nivel de CO
Fuente: (ASHRAE 2011:15.21)

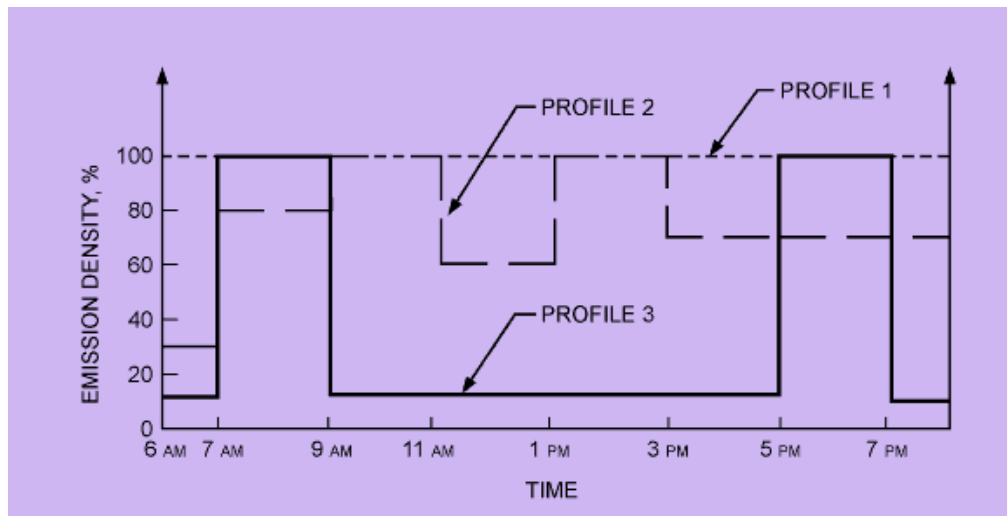


Figura 2.6 Perfiles de movimiento de tres vehículos analizados
Fuente: (ASHRAE 2011:15.21)

CAPITULO III

LOS VENTILADORES

En un sistema de ventilación, para desplazar el aire se necesita una suficiente cantidad de energía para superar las pérdidas de presión del sistema. Esta energía puede obtenerse por convección natural o empuje. A pesar de ello, la mayor parte de los sistemas requieren un componente o dispositivo para el movimiento del aire, como son los ventiladores.

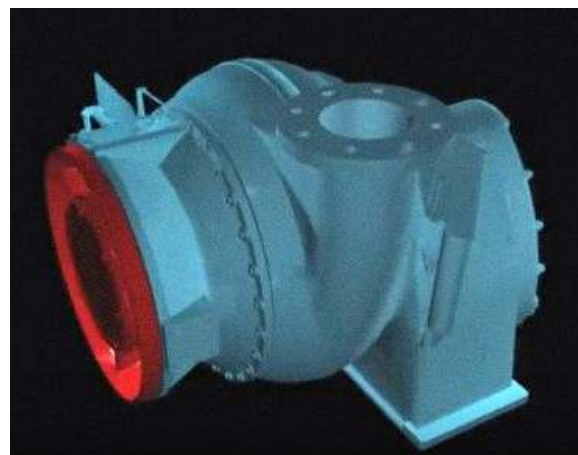
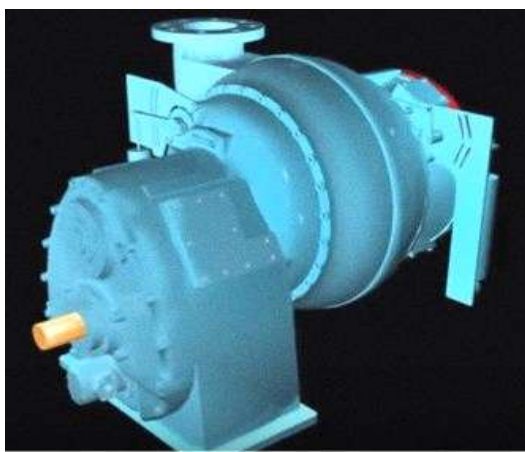


Figura 3.1 El Ventilador – Vista exterior
Fuente: 3D Blower Animation.

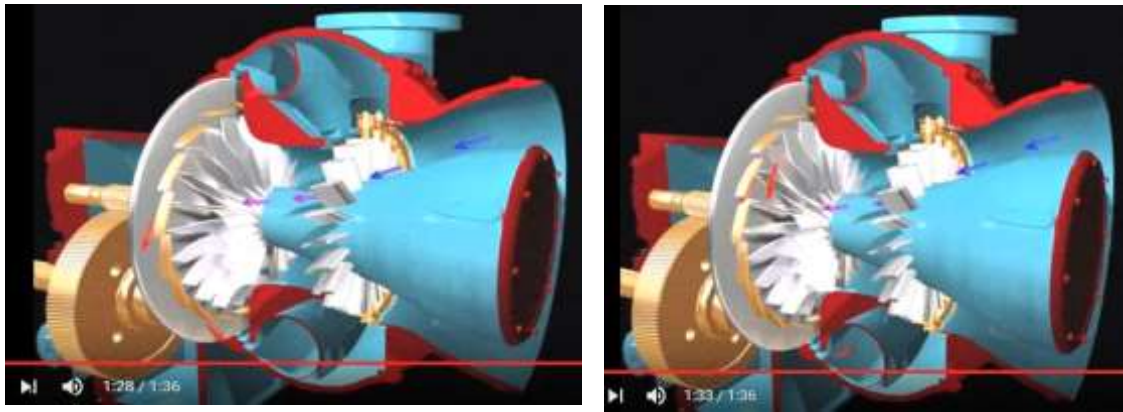


Figura 3.2 El Ventilador – Vista exterior e Interior

Fuente: 3D Blower Animation.

El principio de funcionamiento de los ventiladores consiste en el *suministro de energía mecánica al aire* a través de un rotor que gira a alta velocidad, incrementando la energía cinética del aire, que luego será transformada parcialmente en presión estática.

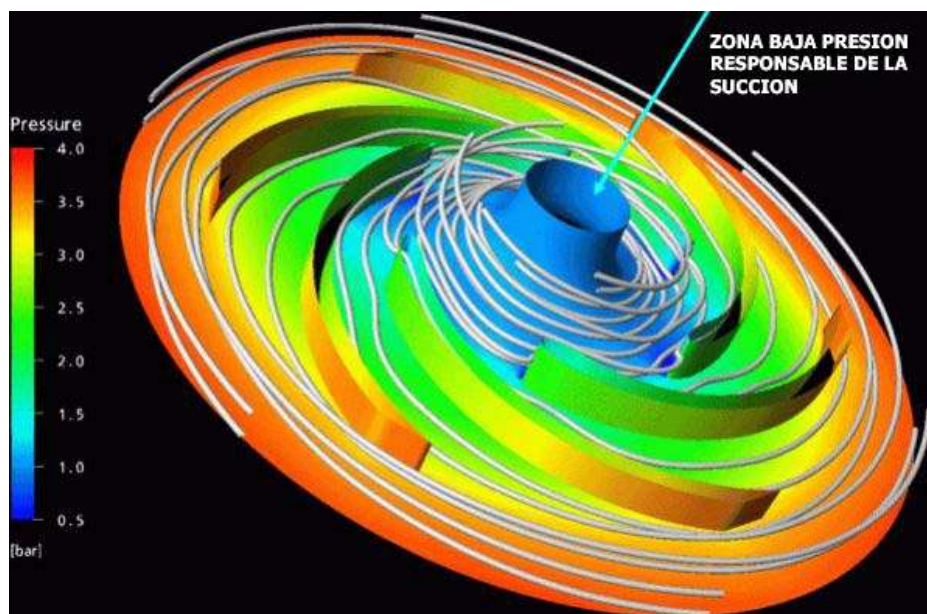


Figura 3.3 Ventilador – Principio de Funcionamiento

Fuente: JHG Ingeniería SAC 2016

Los ventiladores se dividen en dos grandes grupos: ventiladores axiales y ventiladores centrífugos.

3.1 Clasificación

3.1.1 Los Ventiladores axiales

Este tipo de ventilador transmite energía al aire a través de un movimiento de giro en remolino que es provocado por el rotor. El movimiento del aire es realizado conservando la dirección del eje del rotor. La eficiencia mecánica que se genera es bastante alta, llegando hasta el 95%. No obstante, no se puede vencer caídas de presión muy elevadas. La aplicación que tiene este tipo de ventiladores se encuentra en el campo de la ventilación general y funcionan como extractores o inyectores de aire (Echeverri 2011:127).

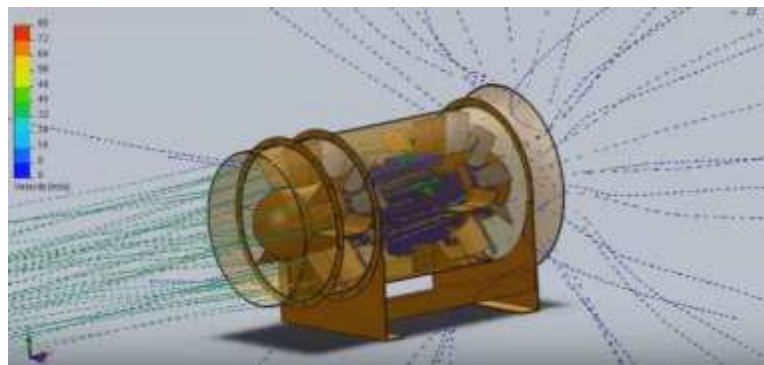


Figura 3.4 Ventilador axial

Fuente: Ingenieros en ventiladores SAC 2011:130

El rotor de los ventiladores axiales tiene *álabes colocados en ángulo hacia el eje*, por lo que el sentido del flujo se invierte al invertir el sentido de giro del rotor.

Los ventiladores axiales se caracterizan por la forma de sus álabes, la medida del diámetro desde el eje al extremo, la inclinación de los álabes y el número de los mismos.

Los álabes pueden tener grosor uniforme con forma aerodinámica, la cual, pese a su mayor costo, proporciona una mayor presión para diámetros y velocidades equivalentes. Pero al utilizarse estos ventiladores a presiones mayores a las previstas, el flujo de aire cercano al eje no será rectilíneo y provocará ruido considerable.

Los ventiladores axiales se pueden distinguir en 3 clases:

1. Ventiladores axiales que tienen aletas guía o vane-axial. Tienen *aletas guías de salida de aire aumentando la eficacia del ventilador*.

Sus aplicaciones se pueden ver en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado en baja, media o alta presión. Los ventiladores axiales generan niveles de ruido mayores a los de los ventiladores centrífugos.

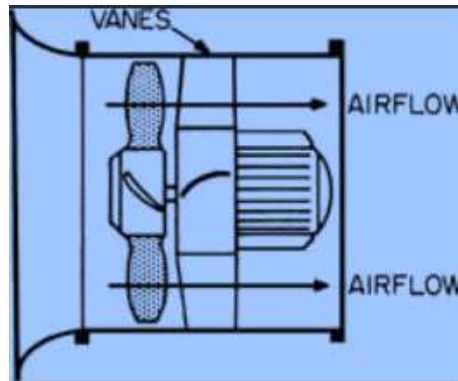


Figura 3.5 Ventilador vaneaxial

Fuente: Salvador 2014



Figura 3.6 Ventilador vane axial

Fuente: Besmac Ingeniería S.A.S. 2014

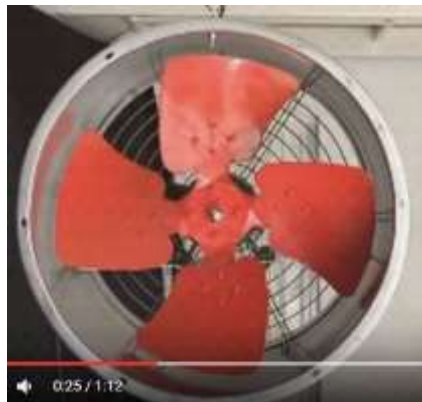
2. Ventiladores tuboaxiales, que son aquellos que no poseen aletas guía de salida por lo que su eficacia es menor. Tienen un costo menor debido a su sencilla fabricación. También es utilizado para sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado a presiones bajas, medias y altas. Se caracteriza por el pequeño diámetro de eje y normalmente

se les utiliza para altos caudales de aire a baja presión. El nivel de ruido es mayor que el de aletas guía.



Figura 3.7 Ventilador Tuboaxial

Fuente: [Prezi.com/ventiladores](https://prezi.com/ventiladores)



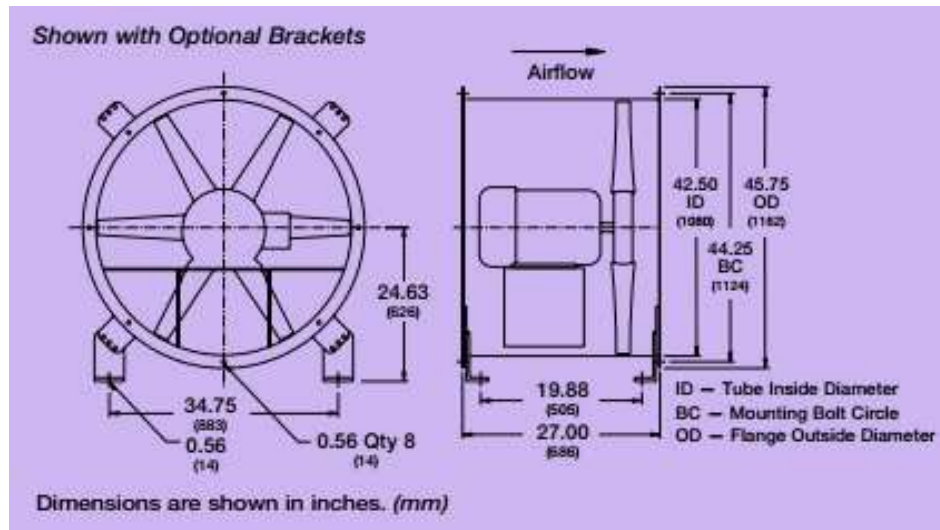


Figura 3.8 Ventilador Tuboaxial

Fuente: (Industrias Frigidaire LTDA 2012)

3. Ventiladores helicoidales, son aquellos utilizados para instalaciones con presiones muy bajas, funcionando con una impulsión casi nula, pero con grandes caudales de aire.

El campo de aplicación de estos ventiladores es para la ventilación por evacuación en techos, circulación de aire y torres de refrigeración. Son instalados en compartimentos aislados no conectados al sistema de ductos.



Figura 3.9 Ventilador helicoidal tubular

Fuente: Sumair Ventilación Industrial 2015

3.1.2 Los Ventiladores Centrífugos

En este tipo de ventilador el aire ingresa al rotor con una trayectoria axial y sale por el mismo en dirección perpendicular.

En los ventiladores centrífugos, el rotor tiene álabes adheridos al mismo en las que el aire circula hacia afuera y a causa de la “fuerza centrífuga”, abandonando el rotor con una velocidad mayor a la de entrada. La energía que recibe el aire proviene del momento ejercido por el eje giratorio que va acoplado a un motor.

En un ventilador centrífugo, el rendimiento mecánico varía entre el 45 y 84%. Esto se debe a la presencia de remolinos y choques causados por el cambio de dirección del aire.

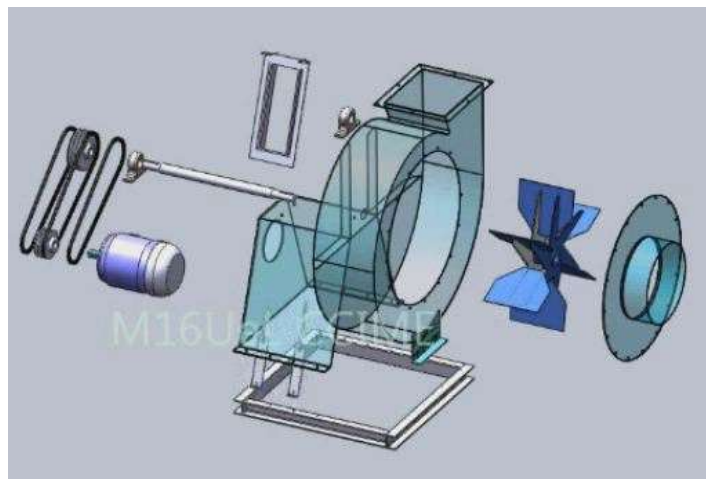


Figura 3.10 Ventilador Centrífugo - Despiece
Fuente: Youtube.com 2017

En los ventiladores centrífugos, la principal clasificación tiene como base al ángulo de los álabes del rotor, debido a que estos determinan la característica de la velocidad de giro. La presión generada por un ventilador centrífugo es función del movimiento o velocidad frontal del aire en la punta de los alabes del rotor.

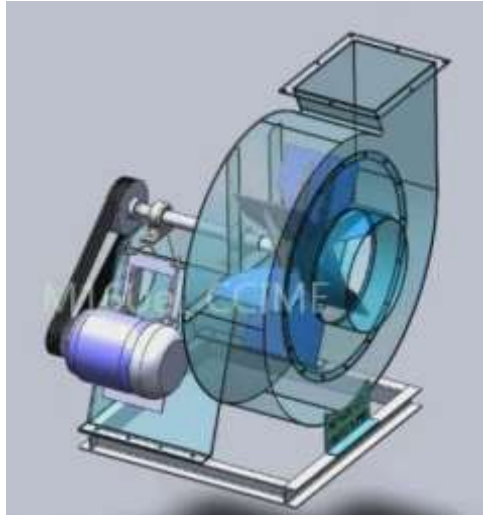


Figura 3.11 Ventilador centrífugo – vista interior

Fuente: Youtube.com 2017

Los ventiladores centrífugos son clasificados por los siguientes tipos de rotores:

1. Ventiladores centrífugos con álabes curvados hacia atrás

La característica principal es que los álabes se encuentran inclinados en dirección opuesta al giro del rotor. El usado comúnmente para altas velocidades de trabajo a baja potencia, generando altas eficiencias y bajos niveles de ruido. Son aplicados para sistemas generales de calefacción, ventilación y aire acondicionado desde bajas hasta altas presiones estáticas.



Figura 3.12 Ventilador centrífugo alabes curvado para atrás

Fuente: Infinair, 2013

Este tipo de rotores se subdividen según la forma del álabe:

a. Rotores con álabes de grosor uniforme

Estos ayudan a al ventilador a manejar la presencia de polvo o humedad. No deben ser usados en la presencia de partículas que puedan acumularse en la cara inferior de los mismos.

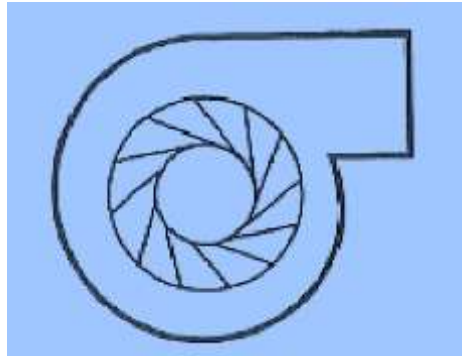


Figura 3.13 Rotor con álabes de grosor uniforme

Fuente: (Echeverri 2011:133)

b. Rotores con álabes aerodinámicos.

Estos rotores ofrecen altas eficiencias y bajas niveles de ruidos. Se pueden correr a mayor velocidad. Sus aplicaciones se restringen a instalaciones con aire limpio.

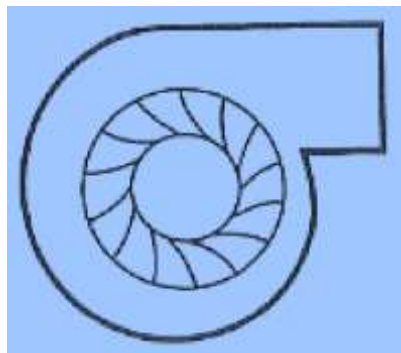


Figura 3.14 Rotor con álabes aerodinámicos

Fuente: (Echeverri 2011:133)

c. Rotores con álabes radiales

Estos rotores son utilizados para la mayor parte de sistemas de extracción en la que las partículas atraviesan el ventilador. Su diseño se realiza con álabes anchos de poco espesor para trabajos a baja presión con altos caudales. Para aplicaciones de alta presión y bajos caudales se utilizan álabes estrechos y profundos.

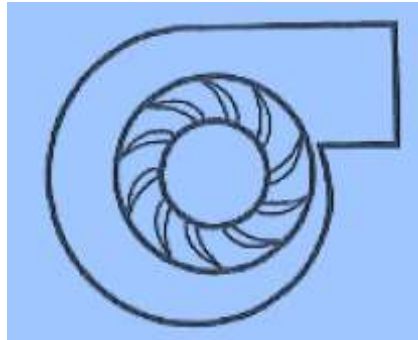


Figura 3.15 Rotor con álabes radiales

Fuente: (Echeverri 2011:133)

Existen rotores que tienen sus álabes con diámetro interior del filo. Tiene un leve ángulo de inclinación en el sentido de rotación. Este tipo de álabes se les conoce como *radiales modificados*. Se utilizan en sistemas industriales de alta presión debido a la forma del álabe. Asimismo, se emplean en condiciones de alta posibilidad de corrosión y erosión.

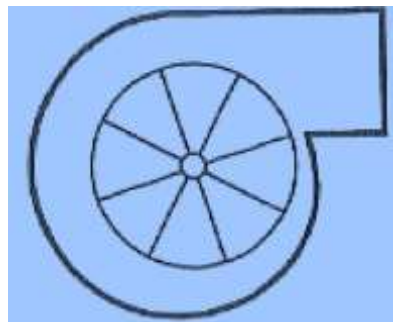


Figura 3.16 Rotor con álabes radiales modificados

Fuente: (Echeverri 2011:133)

2. Ventiladores centrífugos con álabes curvados hacia adelante

Estos ventiladores tienen sus álabes inclinados en la dirección de rotación. Se requiere poco espacio y bajas velocidades en la punta del álabe. Son diseñados para trabajos de baja a media presión como para los sistemas de calefacción y aire acondicionado. Se recomienda para ambientes que no contengan partículas que puedan adherirse a los álabes, debido a que esto puede causar turbulencia.

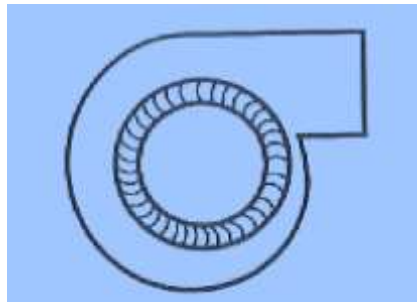


Figura 3.17 Rotor con álabes curvados hacia adelante

Fuente: (Echeverri 2011:133)

3.2 Leyes que rigen a los ventiladores

El comportamiento de los ventiladores es determinado por leyes que en condiciones variables de funcionamiento han sido ensayados para evitar la necesidad de realizar nuevos ensayos. Las expresiones matemáticas, basadas en la teoría de la mecánica de fluidos, son utilizadas para calcular los resultados que se obtendrán al someter a un ventilador a distintos regímenes de marcha o condiciones del fluido que transporta.

Las variables que rigen al ventilador son: la velocidad de rotación, el diámetro del rotor, la presión estática, el caudal, la potencia y el rendimiento. Su aplicación se encuentra restringida a ventiladores de la misma familia, con valores conocidos en las condiciones de trabajo bajo las que se quieren determinar los nuevos valores. Podemos mencionar a las leyes de los ventiladores:

1. Primera ley

Varía con la velocidad de rotación manteniendo constantes la densidad del aire y el diámetro del rotor.

2. Segunda ley

Varía la densidad del aire, manteniendo constantes todas las demás variables (caudal de aire, velocidad de rotación y tamaño de ventilador). El caudal se mantiene constante si el ventilador funciona a una velocidad de rotación constante y sobre un sistema que no implique cambios de resistencia.

3. Tercera ley

Varía la densidad del aire permaneciendo constantes la presión estática y el tamaño del ventilador. Se utiliza cuando se desea mantener constante la presión estática pese a la compresibilidad del aire.

4. Cuarta ley

Varía la densidad del aire manteniendo constantes el flujo másico de aire y el tamaño del ventilador.

3.3 Selección de los ventiladores

Los fabricantes dan a conocer el funcionamiento de sus equipos mediante las curvas características de ventilación. Dichas curva del ventilador consiste en una gráfica presión-caudal para distintas velocidades del rotor. Sin embargo, la selección de un ventilador no sólo va a depender de encontrar un ventilador que cumpla con los requerimientos de presión y caudal sino considera todos los aspectos de la instalación como son el flujo de aire, temperatura de operación y montaje. La información necesaria para realizar una correcta selección es proveída por el fabricante.

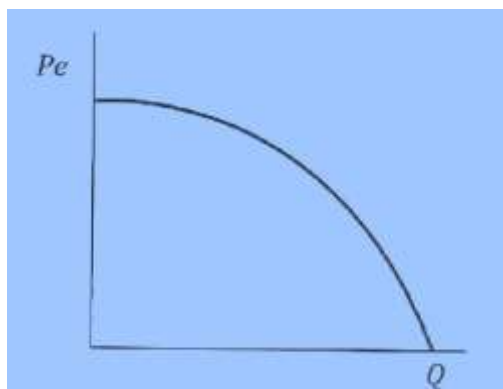


Figura 3.18 Curva característica del ventilador

Fuente: (Salvador Escoda 2010:2)

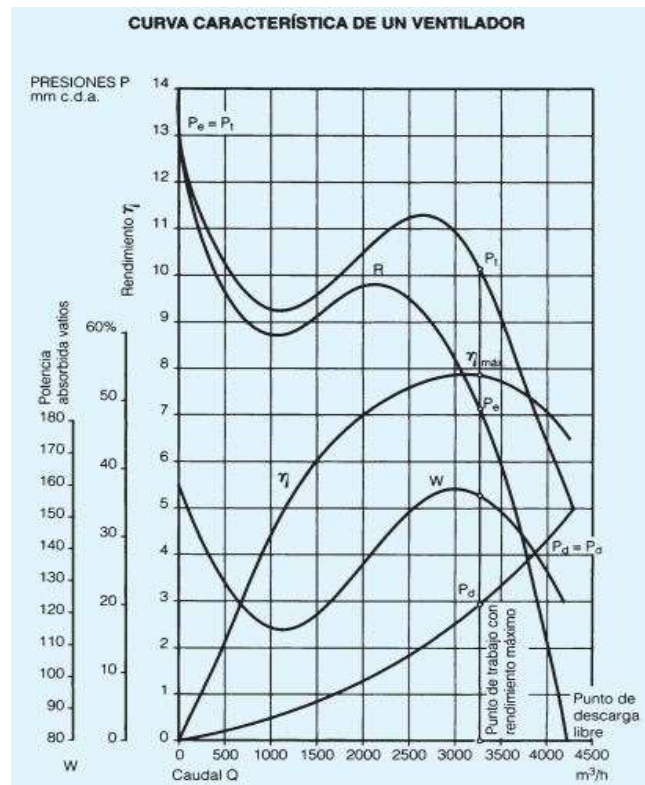


Figura 3.19 Curva característica del ventilador

Fuente: (Salvador Escoda 2010:2)

Generalmente los fabricantes presentan la información mediante tablas indicando las dimensiones, la presión estática, el caudal, la velocidad de rotación y la potencia consumida. La curva característica de un sistema de ventilación es la representación gráfica de la presión requerida en función del caudal que circula por dicho sistema. El conocimiento de dicha curva ayuda a visualizar cómo se selecciona un ventilador.

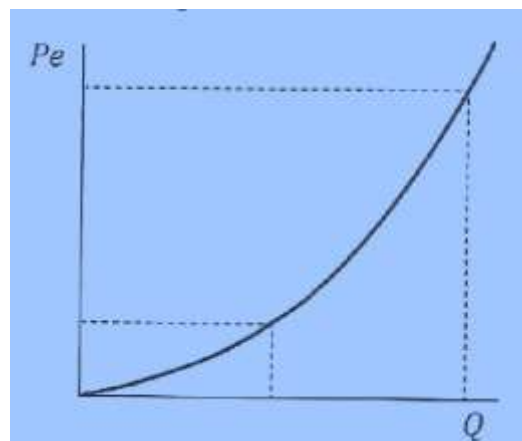


Figura 3.20 Curva del sistema de ventilación

Fuente: (Echeverri 2011:137)

Cuando superponemos las curvas del sistema y del ventilador, el punto de corte que se obtiene se le denomina *punto de operación o de trabajo*. El ventilador sólo podrá funcionar a una determinada velocidad para el sistema donde se utilice. Para otros ventiladores, las curvas pasarán por el mismo punto de operación cuando los rotores giren a una velocidad diferente.

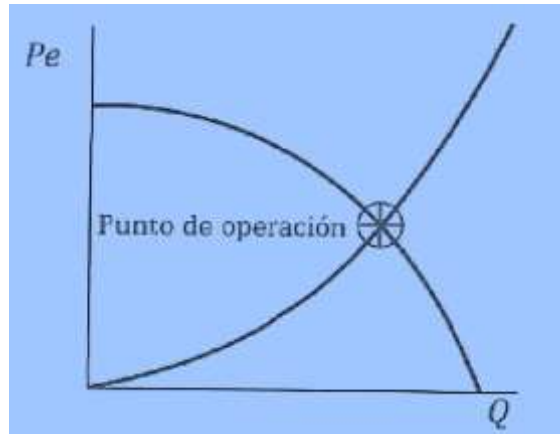


Figura 3.21 Curvas características del Sistema de Ventilación y el Ventilador

Fuente: (Echeverri 2011:137)

Para elegir un ventilador se tendrá que hacer que la velocidad de rotación coincida con el punto de operación del sistema para que proporcione el caudal y presión requeridos.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACION DEL PROYECTO

En muchas de las edificaciones actuales que tienen estacionamiento subterráneo, no presentan entradas ni salidas naturales de aire, por lo que es necesario utilizar un sistema de ventilación mecánica que debe ser diseñada para reducir la cantidad de contaminantes en el ambiente de los estacionamientos.

Para diseñar un sistema de ventilación se puede seguir el siguiente procedimiento:

1. Analizar la edificación y definir la cantidad de sótanos que servirán de estacionamiento y luego definir el sistema de ventilación a usar.
2. Definido el de sistema de ventilación, se debe determinar el caudal de ventilación óptimo para mantener la concentración del contaminante (monóxido de carbono y otros) por debajo de los límites permisibles.

3. Determinado el caudal, se debe diseñar el sistema de ductos de aire para el proyecto.
4. Con el sistema de ductos diseñado, se debe determinar los equipos que serán utilizados en el sistema de ventilación elegido.
5. Determinado los equipos, se debe diseñar el sistema eléctrico apropiado para el buen funcionamiento de todos ellos.

En el proyecto, el número de sótanos que se van a construir para estacionamiento son

3

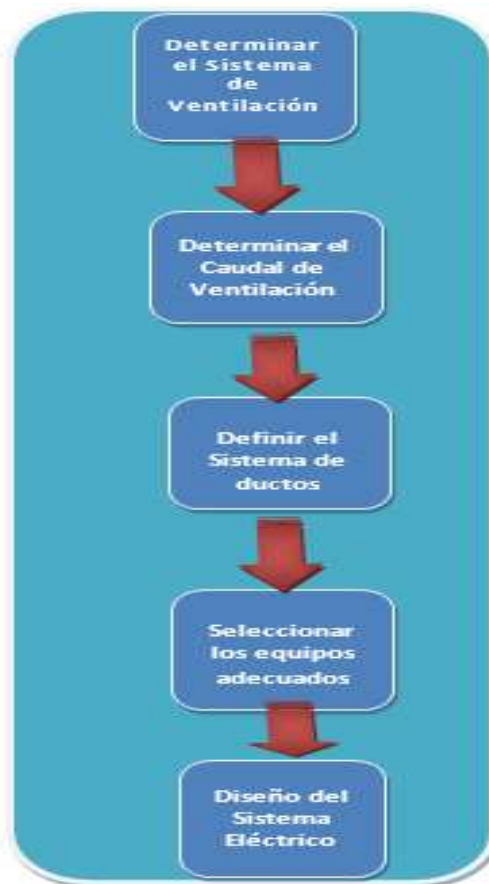


Figura 4.1 Flujograma para el Diseño General

4.1 Determinación del Sistema de ventilación

Cuando los estacionamientos sean cerrados, las regulaciones nacionales e internacionales establecen que el sistema de ventilación sea forzada, que quiere decir, mediante el uso de equipos electromecánicos. Cómo se va a tratar el aire contaminado debemos determinar el tipo de equipos que serán necesarios utilizar.

Se identificará la fuente de contaminación en los estacionamientos y sus características como:

1. Fuentes de emisión de Grandes proporciones (Fuentes de medianas proporciones).
2. Fuentes en distintas posiciones.
3. Fuentes de distintos tiempos de operación.

Con estas características, el sistema de ventilación a diseñar deberá operar bajo el principio de ventilación general, que significa que el aire que ingrese del exterior se mezclará con los contaminantes, los cuales disminuirán su concentración para luego ser extraído y expulsado al exterior.

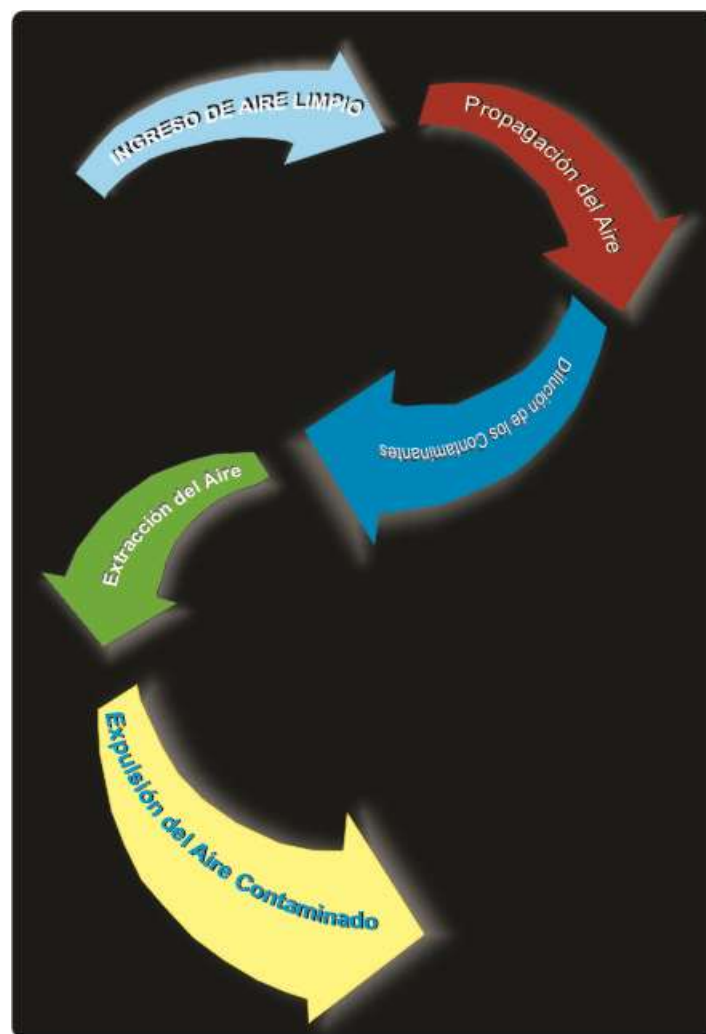


Figura 4.2 Fundamentos de una ventilación general

Fuente: Propia

Una vez definido cómo se va a manejar el aire contaminado, hay que definir qué equipos realizarán dicha labor.

Un sistema de ventilación ideal, bajo el principio de ventilación general, está definido como la inyección y extracción de aire, es decir, un sistema de ventilación tipo mixta. En este tipo de sistema se presentan dos problemas principales: El recorrido que tendrán los ductos y el costo de ellos. En los sistemas mixtos, al controlarse tanto la entrada como la salida del aire, también se requerirán ventiladores para ambas tareas. El costo se incrementa por el sistema de ductos de ambos sistemas independientes. Cuando el ambiente es amplio y largo el recorrido se convierte en un problema debido a posibles cruces entre los ductos de ambos sistemas.

Existe dificultad en determinar si el caudal de aire inyectado en un sistema de ventilación por sobrepresión pueda expulsar en su totalidad el aire contaminado, por lo que la opción mayormente utilizada para la ventilación de estacionamientos es un sistema de ventilación por depresión.

El sistema de ventilación por depresión va a permitir que el aire contaminado sea totalmente extraído del ambiente y debido a la diferencia de presiones generadas el aire ingresará a los estacionamientos mediante aberturas hacia el exterior, pero por tratarse de estacionamientos subterráneos, el ingreso natural de aire deberá realizarse mediante aberturas construidas en los 3 niveles.

Un sistema de ventilación controlado mediante detectores de nivel de monóxido de carbono, es una solución que reduce en gran medida el consumo de energía frente a un sistema de ventilación permanente.

El arranque de los motores de los ventiladores genera una alta intensidad de corriente. La alta intensidad se puede reducir utilizando métodos de arranque de motores. Tomando esto en consideración, diseñar un sistema de ventilación centralizado, que extraiga el aire de todos los sótanos al mismo tiempo, al recibir la señal de los detectores, supondría la utilización de un equipo de mayor consumo de energía que esté constantemente encendido, o arrancando continuamente.

Por esta razón, la solución planteada para el diseño del sistema de ventilación de estacionamientos subterráneos es diseñar sistemas de ventilación independientes para cada sótano.

4.2 El Caudal de ventilación

Es el flujo de aire que se necesita para mantener el ambiente de los estacionamientos en condiciones normales de ventilación, dentro de los límites permitidos de contaminación y a su vez permite la eliminación de malos olores, excesos de calor y posibles riesgos de explosividad.

4.2.1 Metodología para el cálculo del caudal de ventilación

Para calcular el caudal de ventilación dentro de un estacionamiento cerrado se puede optar por 3 metodologías:

1. El método de Caudal de ventilación de aire, recomendado
2. El Método de determinación de renovaciones de aire
3. El Método de determinación del caudal de aire usando un procedimiento recomendado por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado **ASHRAE**.

4.2.1.1 Método del Caudal de aire recomendado

En el mundo, cada país y organismos internacionales proveen sus propias regulaciones en lo referente a los flujos de aire por unidad de área o por vehículo en un estacionamiento. Los diversos ensayos estadísticos de caudal de aire realizados en los estacionamientos han dado resultados que son tomados en cuenta al momento de realizar el cálculo. Muchas veces no se han tomado en cuenta las características propias del estacionamiento con respecto al tipo de edificación (comercial, residencial, educativa, etc.). Generalmente se ha considerado únicamente el área del piso del estacionamiento o la capacidad del mismo. Por esta razón es que, en muchos casos, estos sistemas han sido sobredimensionados, ocasionando gastos excesivos por la compra de equipos de mayor capacidad de lo que se necesita.

En las tablas a continuación se muestran los flujos de aire recomendados en algunos países y de organizaciones especializadas.

Estándar	Caudal (L/s*m ²)
Alemania	3,30
ASHRAE	7,60
ICBO	7,60
Japón/Corea del sur	6,35
NFPA	5,00
Perú	3,30
Suecia	0,91
UNE	5,00

Tabla 4.1 Requerimientos de ventilación por vehículo en un estacionamiento.

Fuente: (Krtati 2001:53)

Estandar	Caudal (L/s*plaza)
Francia	165
UNE	210

Tabla 4.2 Requerimientos de ventilación por unidad de área en un estacionamiento.

Fuentes: (Krtati 2001:53), (Ministerio de Vivienda 2006:321175)

4.2.1.2 Método de renovación de aire

Organismos internacionales, autores especializados y algunos países han presentan regulaciones que recomiendan valores de cambios completos de aire, del ambiente, por hora. Para la determinación de la renovación de aire, el único parámetro es el *volumen de estacionamiento*. Al igual que los caudales recomendados, no se consideran los elementos que afectan a la

calidad del aire ni tampoco el tipo de la edificación del estacionamiento.

ORGANISMOS - PAISES	RENOVACIONES
BOCA	6
NFPA	6
Reino Unido	6 – 10
S. Escoda	6 – 8
SBCCI	6 – 7
Soler & Palau	6 – 8

Tabla 4.3 Renovaciones de aire por hora para estacionamientos cerrados.

Fuentes: (Krarti 2001:53), (S&P 1995:18), (Salvador Escoda 1998:31)

En nuestro país, según el organismo regulador, es recomendado un cambio completo de aire por cada 12 minutos, que quiere decir 5 renovaciones por hora (Ministerio de Vivienda 2006:321175).

4.2.1.3 Método de determinación del caudal según la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado ASHRAE.

Según los análisis paramétricos realizados por M. Krarti y A. Ayari, se obtuvo una metodología para la determinación del flujo de aire para mantener un nivel aceptable de CO en los estacionamientos del tipo cerrado (Krarti 2001:54). Esta metodología se basa fundamentalmente en los siguientes factores:

- La determinación de la concentración máxima admisible del CO en el ambiente.
- Determinación del número de vehículos operando en la hora de máxima influencia en el estacionamiento.
- Determinación del Tiempo promedio de vehículos en operación en el estacionamiento.
- Determinación de la Tasa de emisión de cada vehículo bajo diversos estados o condiciones.

Esta metodología está dividida en tres pasos fundamentales:

Paso 1. La Recolección de información de los siguientes parámetros:

1. **N**: Que determina el número de Vehículos en operación en horas de máxima concentración.
2. **E**: Que representa la cantidad de Emisión de monóxido de carbono de un vehículo, promedio x hora.
3. **T(s)**: Que es el Tiempo de operación y viaje promedio de un vehículo.
4. **CO_{máx}(ppm)**: Representa el Nivel de concentración de monóxido de carbono admisible del estacionamiento.
5. **A_p (m²)**: Es el Área total del piso del estacionamiento.

Paso 2. La Evaluación de la tasa de generación de monóxido de carbono:

1. **G(g/(h*m²))**: Esta función determina la máxima generación de monóxido de carbono por cada unidad de área.

$$G = \frac{N * E}{A_{..}} \quad (4.1)$$

2. **G₀ = 26.7 g/(h*m²)**: Esta constante sirve de comparación de la generación máxima de monóxido de carbono calculada con el valor referencial.

$$\varphi = 100 \frac{G}{G_0} \quad (4.2)$$

Paso 3. La Determinación de q' : Caudal de ventilación mínimo por unidad de área de piso, utilizando la correlación C presentada en la ecuación 4.3, dependiendo del $CO_{m\acute{a}x}$:

$$q' = C * \varphi * t$$

(4.3)

Entonces:

$C = 1.204 * 10^{-3} \text{ (l/s)/ (m}^2\text{/s)}$ para $CO_{m\acute{a}x} = 15 \text{ ppm}$.

$C = 0.692 * 10^{-3} \text{ (l/s)/ (m}^2\text{/s)}$ para $CO_{m\acute{a}x} = 25 \text{ ppm}$.

$C = 0.481 * 10^{-3} \text{ (l/s)/ (m}^2\text{/s)}$ para $CO_{m\acute{a}x} = 35 \text{ ppm}$.

4.2.2 Cálculo para determinar el caudal de ventilación

El cálculo a aplicar para diseñar el caudal de ventilación es el propuesto por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado ASHRAE. Este cálculo proviene de aplicar una metodología que servirá para determinar un caudal mínimo de ventilación. Las anteriores metodologías no tomaban en consideración los parámetros relacionados con las características propias de los estacionamientos.

La metodología propuesta por ASHRAE permitirá a tener un cálculo más preciso y necesario del caudal para diluir los contaminantes en los estacionamientos.



Figura 4.3 Metodología recomendada por ASHRAE

4.2.2.1 Recopilación de Información.

4.2.2.1.1 El Número de vehículos en operación en las horas de máxima influencia N

Según la Ordenanza N° 274-MSB- 2003 Art. 12 dado en el distrito de San Borja para los locales comerciales, se requerirá de un (1) Estacionamiento vehicular cada 40 m², tratándose de oficinas.

La variable **N** depende principalmente de la actividad del ambiente al que pertenece el estacionamiento. Se pueden definir porcentajes de la capacidad total del estacionamiento en función al tipo de uso que tiene el mismo.

TIPO DE USO	PORCENTAJE DE LA CAPACIDAD DEL ESTACIONAMIENTO (%)
Continuo (centros comerciales, edificios departamentales)	5 – 10
Otros (estadios deportivos, institucionales, aeropuertos, etc.)	15 - 20

Tabla 4.4 Porcentaje de vehículos en operación en un estacionamiento en hora punta

Fuentes: (ASHRAE 2011:15.19), (AENOR 1992:2)

Para el caso de un estacionamiento de tipo comercial, donde el uso no es muy continuo debido a que solo hay un mayor flujo de vehículos al inicio y final durante la jornada laboral debido al ingreso y salida del personal, por lo que se puede considerar un 10% de vehículos en operación en hora punta, de la capacidad total.

4.2.2.1.2 La Tasa de emisión promedio de monóxido de carbono en el estacionamiento

Cuando un vehículo sale de un estacionamiento, opera a baja velocidad y normalmente el motor se encuentra frío, con una mezcla rica en combustible. Ese momento es cuando las emisiones son más críticas. Al ver la tabla 4.5 se observa como varían

las emisiones y concentraciones de gases en las diferentes condiciones de operación de los vehículos.

	Emisión en caliente		Emisión en frío	
	g/min		g/min	
Estación	1 991	1 996	1 991	1 996
Verano, 32°C	2,54	1,89	4,27	3,66
Invierno, 0°C	3,61	3,38	20,74	18,96

Tabla 4.5 Emisiones en estacionamientos

Fuente: (ASHRAE 2011:15.20)

*Nota: Velocidad del vehículo = 8 km/h

Las emisiones que tiene un vehículo depende de un sin número de factores: Tipo de vehículo, año de fabricación, presencia de catalizadores en el tubo de escape, estado del motor y otros. La infinidad de valores posibles que existen para el valor de **E**, permite asumir un promedio de todos ellos para un día de invierno según se observa en la tabla 4.5. Luego la tasa de emisión promedio: **E = 11.66 g/min o 700 g/h**. Para vehículos automotores que circulen por la red vial, los límites permisibles de emisiones de monóxido de carbono establecen un límite de 3.40 g/km, que sería, para una velocidad de 30 km/h, una tasa de emisión límite de 1.7 g/min. Este valor solo toma en cuenta cuando el auto esta en operación normal. Así lo podemos observar en la tabla 4.5, cuando el motor está frío, las emisiones pueden aumentar aproximadamente seis veces su valor que cuando está estable, por lo que el valor límite de los estándares sería insuficiente para asegurar la calidad del aire. Se debe considerar que no todos los vehículos se encuentran arrancando al mismo tiempo. Hay vehículos que

ya están en movimiento y cuyos motores ya se encuentran estables.

4.2.2.1.3 Tiempo promedio de operación del vehículo en un estacionamiento.

El tamaño y forma del estacionamiento y el número de vehículos que entran o salen del estacionamiento va a influir en el tiempo de operación de un vehículo en un estacionamiento por lo que el valor de T va a variar entre los 60 a 600 segundos. Los valores más comunes están considerados dentro del rango de 60 y 180 (ASHRAE 2011:15.19).

El tiempo aproximado que demoraría un vehículo desde el lote más alejado hasta la rampa podría ser de 30 segundos ($V = 5 \text{ km/h}$). Esta velocidad depende de la geometría del estacionamiento. El tiempo en comenzar la marcha el vehículo y realizar las maniobras para salir del lote podría ser aproximadamente 60 segundos más. Como resultado el tiempo T de operación promedio de un vehículo en el proyecto sería de unos 90 segundos.

4.2.2.1.4 Concentración de CO máximo admisible

La tabla 4.6, muestra que los límites de exposición al monóxido de carbono no son consistentes para las diversas regulaciones internacionales, por lo que se estima que una concentración máxima de 25 ppm estaría cumpliendo con los requerimientos para un tiempo de exposición de 1 hora. Se estima que es poco probable que una persona permanezca dentro de un estacionamiento por más de 1 hora.

En la tabla 4.6 se dan los valores para el cálculo del caudal de ventilación por cada sótano.

	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3
Capacidad total de vehículos	N_0	-	10	12	12
Porcentaje de vehículos operando en hora punta (10%)	α	%	1,0	1,0	1,0
Número de vehículos operando en hora punta	N	-	1	1	1
Tasa de emisión promedio de monóxido de carbono	E	g/h	700	700	700
Tiempo de operación promedio	t	s	90	90	90
Concentración máxima admisible de monóxido de carbono	$CO_{m\acute{a}x}$	ppm	25	25	25
Área de piso	A_p	m ²	452,10	467,00	470,00

Tabla 4.6 Recopilación de información

Fuente: Propia

4.2.2.2 La Tasa de generación de CO

4.2.2.2.1 La Tasa de generación de CO máxima

El cálculo de la Tasa máxima de generación de monóxido se hace con el uso de la ecuación 4.1. Se inicia con el conocimiento del número de vehículos que están en operación, la tasa de generación por vehículo y con el área que ocupa el piso del estacionamiento.

4.2.2.2.2 Tasa de generación normalizada

La Tasa de Generación Normalizada " Φ " se consigue obteniendo el valor de la Tasa de Generación de CO máxima " G ", comparándola con un valor de Tasa de Generación Referencial " G_o ", el cual ha sido tomado de un estacionamiento en forma real, en las peores condiciones de emisiones (Estas emisiones han sido tomadas en frío de invierno). Haciendo uso de la ecuación 4.2 se obtiene los siguientes resultados.

	Símbolo	Unidad	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3
Tasa máxima de generación de CO	G	g/h*m ²	1,55	1,50	1,49
Tasa de generación de CO referencial	G ₀	g/h*m ²	26,70	26,70	26,70
Tasa normalizada	Φ	-	5,80	5,61	5,58

Tabla 4.7 Tasa normalizada de monóxido de carbono CO por cada estacionamiento

Fuente: Propia

4.2.2.3 Caudal mínimo de aire

Haciendo uso de un coeficiente de correlación C , que depende del valor de concentración máxima admisible y utilizando la ecuación 4.3, determinamos el caudal mínimo q' .

En la concentración de 25 ppm, el valor de correlación C es:

$$C = 0.692 \times 10^{-3} \text{ (l/s)/(m}^2\text{/s)}.$$

Los valores determinados para el caudal mínimo se muestran en la tabla 4.8.

	Símbolo	Unid	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3
Tasa normalizada	Φ	-	5,58	5,61	5,58
Coeficiente de correlación	C	l/s ² *m ²	0,000692	0,000692	0,000692
Tiempo de operación	t	s	90	90	90
Caudal mín. por unidad de área	q'	l/s*m ²	0,36	0.35	0.35
Caudal mínimo	Q'	l/s	161,73	163,45	164,50

Tabla 4.8 Caudal mínimo de aire por unidad de área

Fuente: Propia

4.2.2.4 Caudal de aire real

Es importante incluir un factor de seguridad para determinar el caudal de aire real “ Q_r ” necesario para ventilar cada estacionamiento, que contempla mezclas no completas en la dilución del monóxido de carbono en el aire.

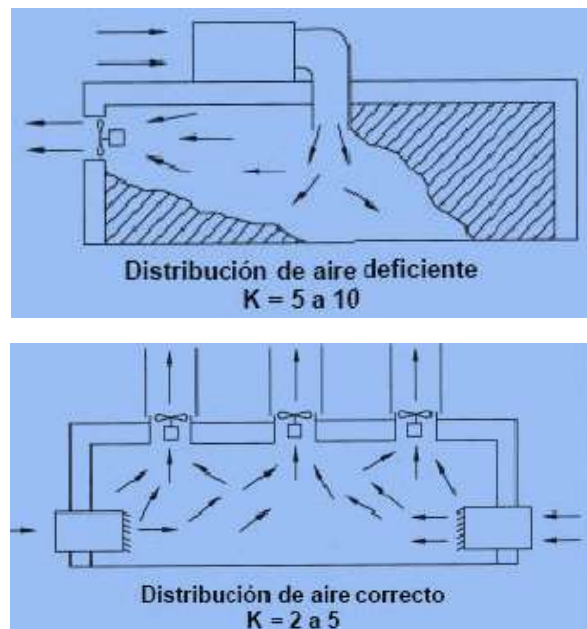
$$Q_r = K * Q'$$

(4.4)

El valor del factor de seguridad K varía entre 1 y 10 de acuerdo con las siguientes consideraciones:

- La eficacia de la mezcla y distribución del aire en el espacio que se ventila.
- La toxicidad del contaminante.
- La ubicación y No de focos de contaminación en el local.
- La reducción en la eficacia funcional de los equipos mecánicos de ventilación.

En la figura 4.4 se visualizan esquemas donde se muestra el valor de K para las distintas situaciones de distribución de aire.



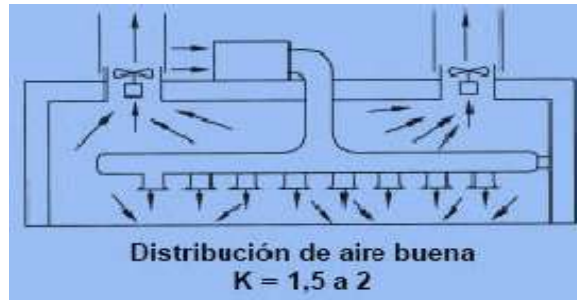


Figura 4.4 Factores de dilución en locales con diferentes tipos de distribución

Fuente: (INSHT 2006:7)

Se va a diseñar un sistema de ventilación que distribuirá los puntos de extracción de aire donde la emisión de monóxido sea en mayor proporción en cada estacionamiento y el ingreso natural de aire mediante aberturas conducidas. Se elegirá por tanto un factor de seguridad de $K = 2.5$

La tabla 4.9 muestra los caudales reales de ventilación necesarios para ventilar cada estacionamiento.

	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3
Caudal mínimo	Q'	l/s	167.28	163.45	164.50
Factor de seguridad para mezcla incompleta	K	-	2.5	2.5	2.5
Caudal real por estacionamiento	Q_r	l/s	418.19	408.63	411.25

Tabla 4.9 Caudal real de ventilación para cada estacionamiento

Fuente: Propia

CAPITULO V: DISEÑO DE DUCTOS DEL SISTEMA

DISEÑO DE DUCTOS

El diseño de los ductos consiste en conectar el ventilador o extractor a un sistema de conductos y accesorios, con la finalidad de llevar el aire a puntos estratégicos que permita asegurar una eficiente distribución de aire. El ventilador provee de energía al flujo de aire, lo inyecta o extrae, debido a la fricción con las paredes, cambios de dirección u obstáculos que se encuentren a su paso. Se debe considerar lo siguiente para diseñar un sistema de ductos:

- a. Control de incendios
- b. Costo de inversión inicial
- c. costo de operación del sistema
- d. Disponibilidad de espacio
- e. Difusión del aire
- f. Equipamiento
- g. Niveles de ruido

El sistema de ductos puede operar en forma inadecuada si hay deficiencias en su diseño, además de que pueden ser muy costosos y difíciles de montar y operar.

5.1 Conceptos fundamentales de diseño

5.1.1 El Flujo laminar y turbulento

En un conducto por el que circula un fluido existen dos tipos de movimiento o flujo: Flujo laminar y Flujo turbulento.

El flujo laminar es un movimiento donde sus líneas de flujo no se entrecruzan, es perfectamente ordenado. En el fluido, las velocidades son mayores hacia el centro del conducto y disminuyen hacia las paredes, donde la velocidad del fluido es cero. Esta distribución forma lo que se conoce como el perfil de velocidades.

El flujo transitorio tiene como característica un movimiento combinado de partículas desplazándose en forma ordenado inicialmente y luego cambiante hacia un movimiento errático en determinadas líneas del flujo, formando una especie de estela.

El flujo turbulento se caracteriza por un movimiento desordenado de partículas dentro del conducto, siendo el flujo totalmente errático. La velocidad en cada punto es variable, a diferencia del flujo laminar.



FLUJO LAMINAR



FLUJO TRANSITORIO



FLUJO TURBULENTO

Figura 5.1 Flujos laminar, en transición y turbulento.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=L0Ofqqx2cGs>

Para determinar si un flujo a través de un conducto es laminar, transitorio o turbulento utilizamos el número de Reynolds. El número de Reynolds depende de 4 variables:

1. La densidad del fluido.
2. El diámetro del conducto.
3. La velocidad del aire.
4. La viscosidad dinámica

Estas cuatro variables dependen de la siguiente relación:

$$Re = \frac{D * \delta * v}{\mu}$$

(5.1)

Entonces:

Re : Número de Reynolds

D : Diámetro del ducto en m.

δ : Densidad del fluido, en kg

v : Velocidad del fluido dentro del conducto, en m/s.

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

Si el número de Reynolds es menor a 2,100 el flujo es siempre laminar. Para valores mayores a 4000 el flujo es turbulento, y para valores entre 2,100 y 4,000 el flujo se encuentra en una etapa de transición.

En los sistemas de ductos de ventilación sólo se encuentran flujos turbulentos (Alden 1982:9).

5.1.2 La Ecuación de Bernoulli

Es la aplicación del teorema de la conservación de la energía. Establece que entre dos puntos (1 y 2) donde circula un fluido incompresible, dentro de un conducto ideal sin fricción se cumple la siguiente expresión:

$$\frac{\delta v_1^2}{2} + p_1 + \delta g h_1 = \frac{\delta v_2^2}{2} + p_2 + \rho g h_2 \quad (5.2)$$

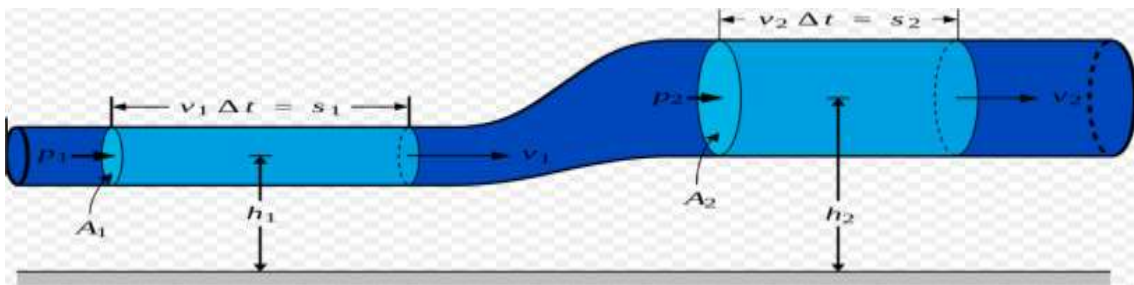


Figura 5.2 Ecuación de Bernoulli

<http://es.slideshare.net/vicentz/la-ecuacion-de-bernoulli>

P : Es la presión hidrostática, en Pa.

δ : Densidad del fluido.

v : Velocidad de flujo del fluido.

g : Valor de la aceleración de la gravedad 9,81 m.s⁻²

(En la superficie de la Tierra).

h : Altura del punto respecto a un plano de referencia, en m.

Teniendo en cuenta las pérdidas por fricción, la fórmula de Bernoulli se muestra adopta la siguiente fórmula 5.3:

$$\frac{\delta v_1^2}{2} + p_1 + \delta g h_1 = \frac{\delta v_2^2}{2} + p_2 + \delta g h_2 + \Delta p_f \quad (5.3)$$

En la que:

Δp_f : Pérdidas por fricción, en Pa.

En los sistemas de ventilación, el término de la energía potencial de fluido representada por δgh en la ecuación de Bernoulli es pequeña en comparación a los demás términos, por lo que puede ser omitida.

Cuando se omite estos términos en el teorema de Bernoulli se determina que la presión total del fluido en un punto, es la suma algebraica de las presiones estática y dinámica.

$$p_t = p_e + p_d$$

(5.4)

Entonces:

p_t : Presión total del fluido, en Pa.

p_e : Presión estática del fluido, en Pa.

p_d : Presión dinámica, o de velocidad, del fluido, en Pa

La presión estática es aquella que tiende a comprimir o expandir el fluido y colapsar el conducto. Se presenta igual en todas las direcciones. Mientras que la presión dinámica actúa solamente en la dirección del flujo y se requiere para acelerar la masa que fluye hasta una velocidad determinada.

5.1.3 La Resistencia del fluido

Se deben principalmente a dos causas: Las pérdidas por fricción y pérdidas dinámicas, son ellas las que causan las caídas de presión en un sistema de ductos y causan también en el fluido la transformación de la energía mecánica en calor.

5.1.3.1 Pérdidas por fricción

Las pérdidas por fricción son originadas por la viscosidad del fluido y ocurren a lo largo de todo el conducto. Se pueden calcular mediante la ecuación de Darcy:

$$\Delta p_f = \frac{1000 f L}{D_h} * \frac{\rho v^2}{2} \quad (5.5)$$

Luego:

Δp_f : Caída de presión por fricción, en Pa.

f : Factor de fricción.

L : Longitud del ducto, en m.

D_h : Diámetro hidráulico, en mm.

En el flujo laminar, el factor de fricción f es función únicamente del Número de Reynolds. Para el flujo turbulento el factor de fricción depende de otras variables.

Para obtener el factor de fricción, Colebrook presenta la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7 D_h} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (5.6)$$

ε : Rugosidad absoluta del material del conducto, en mm.

Para la solución de la ecuación se emplea métodos iterativos o de aproximaciones. La más utilizada es la aproximación de Swamee-Jain:

$$f = 0.25 \left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D_h} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^{-2} \quad (5.7)$$

La tabla 5.1 presenta los factores de rugosidad absoluta para diferentes materiales basados en la construcción, tipo de junta y espaciado de juntas.

Material	Categoría	Rugosidad absoluta ε en mm
Acero al carbono sin recubrimiento	Liso	0.03
PVC		
Aluminio		
Acero galvanizado, costura longitudinal, juntas de 200 mm	Semi liso	0.09
Acero galvanizado, rolado, costura en espiral, juntas de 3600 mm		
Acero galvanizado, costura	Medio	0.15
Acero galvanizado, espiral, corrugado, juntas de 3600 mm	Semi Rugoso	0.9
Fibra de vidrio rígida		
Flexible, totalmente extendido		
Flexible metálico	Rugoso	3.0
Concreto		

Tabla 5.1 Rugosidad en ductos

Fuente: (ASHRAE 2009:21.6)

5.1.3.2 Las Pérdidas dinámicas

Son el resultado del cambio de la trayectoria del flujo del aire o cambios en la sección que atraviesa, causados por los accesorios y otros equipos. Para determinar las caídas de presión por un accesorio, se utiliza un coeficiente adimensional C_o que tiene el mismo valor en flujos similares en términos de dinámica.

$$C_o = \frac{\Delta p_d}{p_d}$$

(5.8)

Luego:

C_o : Coeficiente de pérdida de presión.

Δp_d : Pérdidas dinámicas, en Pa.

La presión dinámica, o de velocidad, depende de la velocidad del fluido.

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

(5.9)

5.1.3.3 Ecuación de Darcy-Weisbach

La caída de presión total en un tramo de ducto, compuesto por accesorios y tramos rectos, se representa mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta p = \left(\frac{1000 * f * L}{D_h} + \frac{\rho v^2}{2} \right)$$

(5.10)

5.2 Método de diseño de ductos según ASHRAE

Basado en la metodología propuesta por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado ASHRAE para el diseño del sistema de ductos, (ASHRAE 2009:21.18) diseñaremos nuestro sistema:

- 1) *Leer los planos de arquitectura y determinar los puntos de extracción de aire para una adecuada distribución en el ambiente.*

- 2) *Seleccionar las rejillas de extracción de aire de acuerdo a la información del fabricante.*
- 3) *Realizar un esbozo del sistema de ductos, conectando salidas de aire con los ventiladores.*
- 4) *Dividir el sistema en secciones y enumerar cada sección.*
- 5) *Dimensionar los ductos con el método seleccionado.*
- 6) *Calcular la caída de presión del sistema.*
- 7) *Seleccionar el ventilador.*
- 8) *Dibujar el sistema a detalle. Si es necesario, Volver a calcular las caídas de presión y re-seleccionar el ventilador.*

5.3 Diseño de la Ruta del sistema de ductos

En el sistema de ventilación, una distribución eficiente del aire debe lograr la dilución de los contaminantes. Para diseñar la ruta del sistema, primero se debe determinar los puntos de extracción de aire. La norma internacional UNE 100-196 recomienda colocar una rejilla de extracción cada 100 m² de área de piso (AENOR 1992:4).

	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3
Área de piso a ventilar	A_p	m ²	452,10	467,00	470,00
Área de piso por rejilla	$A_{p,r}$	m ²	100	100	100
Número de rejillas calculado	$N_{r,calc}$	-	4,52	4,67	4,70
Número de rejillas real	N_r	-	5	5	5

Tabla 5.2 Número de rejillas por estacionamiento

Fuente: Propia

El número real de rejillas de extracción hallados para cada sótano será de 5, para diferentes caudales de extracción en cada sótano. Con estos valores se distribuye las rejillas para cada sótano tomando en consideración lo siguiente:

- a) Las rejillas deben ser colocadas en los lugares del estacionamiento de mayor generación de contaminantes, y donde se eviten estancamientos de aire.
- b) Deberán ser colocadas alejadas de las entradas de aire al ambiente para lograr un gran movimiento del aire y como consecuencia obtener la eliminación de los contaminantes.

- c) Las rejillas deben ser colocadas a un máximo de 10 metros una de otra (S&P 1995:20). Considerando que la mayor cantidad de contaminantes se generan en los lugares determinados de los estacionamientos, se dispondrá de esta recomendación únicamente en dicho lugar, evitando colocar las rejillas en medio de la vía de circulación de vehículos.

El recorrido del sistema de ductos debe tomar en cuenta los obstáculos que pudiera surgir en el camino al ventilador, tomando en cuenta las columnas, ambientes contiguos y posibles cruces con otros ductos. Además, se debe asegurar el menor recorrido para evitar mayores caídas de presión y exceso de costos.

5.4 Velocidad del aire

En todos los ambientes, la velocidad del aire influye en el confort de las personas por lo siguiente:

1. La velocidad e incidencia del chorro sobre las personas.
2. El sonido que produce.

La corriente e incidencia de aire sobre las personas va a generar una sensación de enfriamiento y sonido que se va a producir cuando el aire atraviesa un conducto o cuando es extraído de un espacio o impulsado hacia el mismo.

Las tablas 5.3 y 5.4 muestran algunos valores recomendados para la velocidad del aire.

Ambiente	Velocidad del aire (m/s)
Zonas públicas comerciales	
A niveles de ocupantes en movimiento	3 a 4
Cerca de personas sentadas	2 a 3
Bocas en parte baja de puertas	3 a 3,5
Persinas 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

Tabla 5.3 Velocidad del aire atendiendo al ruido en bocas de captación

Fuente: (Salvador Escoda 1998:68)

INSTALACIONES	VELOCIDAD DEL AIRE (M/S)	
	PRINCIPAL	SECUNDARIO
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
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
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	12 a 25	5 a 10

Tabla 5.4 Velocidad del aire atendiendo al ruido en ductos

Fuente: (Salvador Escoda 1998:68)

Considerando los valores indicados en las anteriores tablas, en la siguiente tabla se presentan los valores máximos que la velocidad del aire no debe superar en el sistema de ductos.

CONDUCTO	VELOCIDAD DEL AIRE
	(M/S)
Extracción	4
Ducto principal	7
Ducto secundario	5

Tabla 5.5 Velocidad máxima del aire el sistema de ductos

Fuente: Propia

El sistema a diseñar es un sistema por depresión, por lo que no es posible determinar la velocidad de entrada del aire, lo cual no se necesitará limitar dicha velocidad.

5.5 Selección de las rejillas de extracción

La selección de las rejillas de extracción requiere conocer el caudal que deberá extraerse y la velocidad de extracción de cada una de las rejillas. Además, es importante conocer el tipo de rejilla que se utilizará. Se pueden utilizar el mismo tipo de rejillas o difusores que se usan para inyectar aire, como para extraerlo, pero sería un costo innecesario ya que la extracción no requiere condiciones especiales de deflexión de flujo.

Existen diversos tipos de rejillas, pero las más comunes son las rejillas de aleta ajustable y las rejillas de aleta fija.

Rejillas de aleta ajustable

Son las más utilizadas en la extracción de aire. Las rejillas de deflexión simple poseen aletas que cambian la dirección del flujo del aire en un plano vertical u horizontal dependiendo de la dirección las aletas. Las rejillas de deflexión doble poseen 2 juegos de aletas y controlan el flujo en ambos planos.

Rejillas de aleta fija

Se asemejan a las variables, con excepción que el ángulo de las aletas no es ajustable. Sin embargo, pueden encontrarse con aletas en ángulo. **Las rejillas que se están seleccionando para el proyecto son rejillas de aleta ajustable Serie AF marca TROX diseñadas para su instalación en la pared.**

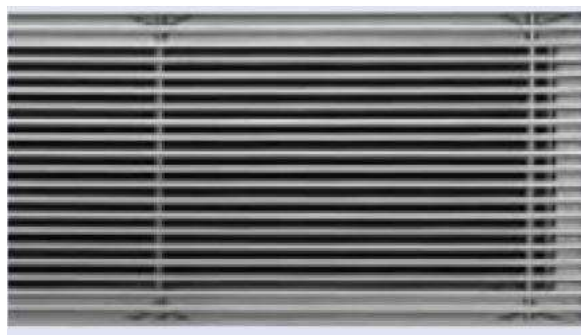


Figura 5.3 Rejilla de aleta ajustable para pared TROX – Serie AF

Fuente: (TROX 2009:4)

Se necesita conocer la velocidad de extracción para dimensionar las rejillas y así poder calcular el área efectiva de flujo mediante la siguiente fórmula:

$$Q_r = v_x * A_e * \gamma * 1000 \quad (5.11)$$

Entonces:

Q_x : Caudal de extracción de la rejilla, en l/s.

v_x : Velocidad de extracción de aire, en m/s.

A_e : Área efectiva de la rejilla, en m².

γ : Factor de corrección.

Con el área efectiva de flujo calculada, buscamos el valor en el catálogo respectivo, tratando que se aproxime a lo necesitado. De no tener el valor exacto, se aproxima al inmediato superior y se recalcula la velocidad con la ecuación 5.11. Sin embargo, es recomendable seleccionar rejillas con un mayor tamaño para poder captar mejor el aire.

Usando una velocidad de extracción de 3,25 m/s, se presenta la siguiente tabla de resultados:

Tabla 5.6 Selección de rejillas de extracción

Fuente: Propia

	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3
Caudal de extracción total	Q_x	l/s	418,19	408,63	411,25
Caudal de extracción por rejilla	Q_r	l/s	83,64	81,73	82,25
Velocidad de extracción	V_x	m/s	3,50	3,50	3,50
Factor de corrección	Γ	-	1,035	1,035	1,035
Área efectiva calculada	$A_{ef.calc}$	m ²	0,02512	0,02512	0,02512
Área efectiva real	$A_{ef.real}$	m ²	0,026	0,026	0,026
Velocidad de extracción real	$V_{x.real}$	m/s	3,14	3,14	3,14

Con las áreas efectivas calculadas elegimos las rejillas en el Manual Trox

Las velocidades de extracción reales para las rejillas seleccionadas en los 3 niveles se encuentran por debajo del límite recomendable de velocidad.

Las rejillas seleccionadas para el proyecto son rejillas de aleta ajustable Serie AF marca TROX diseñadas para su instalación en la pared de 225 x 625 mm, con una relación aproximada de 3: 1

5.6 Dimensionamiento de ductos

5.6.1 Métodos de dimensionamiento

5.6.1.1 Método dinámico

Este método de dimensionamiento implica la elección arbitraria de velocidades para varias secciones del sistema, comenzando con la velocidad más alta a la salida del ventilador y reduciéndola hasta llegar a las salidas de aire.

Partiendo de los valores conocidos de velocidad y caudal de ventilación, en cada punto o tramo del sistema, se pueden dimensionar los conductos mediante la ecuación de caudal:

$$Q = V * S$$

(5.12)

Entonces:

Q : Caudal en el punto de análisis, en m³/s.

V : Velocidad del aire en el punto de análisis, en m/s.

S : Área de la sección del ducto en el punto de análisis, en m².

Con ello se obtiene el área del conducto en dicho punto o tramo y se pueden calcular sus dimensiones.

5.6.1.2 Método de fricción equivalente

El método de fricción equivalente o equifricción consiste en escoger una velocidad arbitraria, la de la última derivación del sistema. El área del conducto en dicho punto se obtiene mediante la ecuación 5.12. Las demás secciones del sistema se calculan

con el fin de obtener una misma pérdida por fricción por unidad de longitud utilizando las ecuaciones de Darcy-Colebrook.

Este método tiende a asegurar la distribución del aire en donde se necesiten grandes longitudes de conducto. Sin embargo, las velocidades a lo largo del sistema varían, por lo que es importante verificar que no excedan el límite permisible. En caso que la geometría del proyecto no lo permita y se deban requerir ductos rectangulares sobre los circulares, se pueden calcular mediante la fórmula de Huebscher:

$$Deq = 1.3 \sqrt[8]{\frac{(H*W)^5}{(H+W)^2}} \quad (5.13)$$

Entonces:

Deq : Diámetro equivalente del ducto, en mm.

H : Altura del ducto rectangular, en mm.

W : Ancho del ducto rectangular, en mm.

Se puede también utilizar catálogos que contiene equivalencias de ductos rectangulares y circulares basados en la fórmula de Huebscher.

5.6.2 Cálculo de secciones de ducto

Se utilizará el método de fricción equivalente para dimensionar las secciones de los ductos considerando que la parte inferior del ducto debe encontrarse mínimo a 2.1 metros sobre el nivel del piso (Ministerio de Vivienda 2006:320646) y teniendo una altura de piso a viga de 2.4 metros, por lo que la altura de los ductos no sobrepasan los 300 mm. Esta restricción hace que los ductos no puedan ser circulares en todos sus tramos, por lo que se diseñarán ductos rectangulares. La recomendación es que los ductos rectangulares tengan una relación de 1:1 entre su altura y

su ancho, no siendo posible esto, en la mayoría de los casos, por lo que se limitará dicha relación a 3:1.

Para el dimensionamiento de ductos es importante tener en cuenta dos aspectos: el costo y las pérdidas. En la gráfica respectiva de pérdidas por fricción se tiene para una rugosidad absoluta de 0.09 mm y una densidad del aire de 1.20 kg/m^3 . En dicha gráfica, ASHRAE recomienda que se dimensionen los ductos para los valores dentro del rango de color oscuro. Para una velocidad de extracción de 2,5 y un caudal de 86,64 Pa. Se tiene una caída de presión mínima de 0.5 Pa/m

Para comenzar a dimensionar los ductos es necesario definir primero las condiciones y restricciones para el cálculo de las secciones:

Parámetros	Unidades	Valor
Temperatura del aire	°C	20
Densidad del aire	kg/m^3	1,20
Viscosidad cinemática	m^2/s	$1,52 \times 10^{-5}$
Material del ducto	-	Acero galvanizado (comercial)
Rugosidad absoluta	mm	0,09
Altura máxima de ducto	mm	300
Ancho máximo de ducto	mm	1 500
Diámetro equivalente máximo	mm	175
Caída de presión por metro mínima	Pa/m	0,950
Velocidad máxima en ducto secundario	m/s	5
Velocidad máxima en ducto principal	m/s	7

Tabla 5.7 Condiciones y restricciones para el dimensionamiento de ductos

Fuente: Propia

Con las restricciones y condiciones definidas, utilizando las ecuaciones 5.1, 5.7 y 5.11 se presenta la siguiente tabla de resultados para los ductos secundarios dentro de los 3 estacionamientos. Hay que tomar en cuenta que el aumento de la sección del ducto se basa en la entrada de un nuevo flujo de aire, es decir, con el mayor número de rejillas que extraen el aire.

$$Re = \frac{D * \delta v}{\mu} \quad (5.1)$$

$$f = 0.25 \left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D_s} \right) \right] \quad (5.7)$$

$$Q_r = v_x * A_e * \gamma * 1000 \quad (5.11)$$

Número de Rejillas	Caudal l/s	Velocidad (m/s)	Área (m ²)	Diámetro (mm)	Reynolds	Factor de Fricción	Caída de Presión Pa/m
Primer sótano							
1	81,64	3,14	0,026	175	45 349	0,023	0,38
Segundo sótano							
1	81,64	3,14	0,026	175	45 349	0,023	0,32
Tercer sótano							
1	81,64	3,14	0,026	175	45 349	0,023	0,37

Tabla 5.8 Dimensionamiento de ductos secundarios

Fuente: Propia

El recorrido esbozado cumple con las restricciones ya que los ductos secundarios llevan el caudal extraído de máximo 1 rejillas. El ducto principal aumentan el número de rejillas por cada 1 debido a la unión con el resto de ductos secundarios. La sección del ducto principal se presenta en la tabla 5.9.

Número de Rejillas	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Área (m2)	Diámetro (mm)	Reynolds	Factor de fricción	Caída de presión
Primer sótano							
5	408,30	4,98	0,082	325	12 9051,26	0,01867002	0,38
4	326,56	4,54	0,072	300	108 599,21	0,01926077	0,38
3	244,92	3,71	0,66	270	79 870,65	0,02034501	0,38
2	163,28	3,33	0,049	210	55 758,75	0,02196391	0,38
1	81,64	3,14	0,026	175	43 814,44	0,0231865	0,38
Segundo sótano							
5	408,30	4,98	0,082	325	12 9051,26	0,01867002	0,32
4	326,56	4,54	0,072	300	108 599,21	0,01926077	0,32
3	244,92	3,71	0,66	270	79 870,65	0,02034501	0,32
2	163,28	3,33	0,049	210	55 758,75	0,02196391	0,32
1	81,64	3,14	0,026	175	43 814,44	0,0231865	0,32
Tercer sótano							
5	408,30	4,98	0,082	325	12 9051,26	0,01867002	0,37
4	326,56	4,54	0,072	300	108 599,21	0,01926077	0,37
3	244,92	3,71	0,66	270	79 870,65	0,02034501	0,37
2	163,28	3,33	0,049	210	55 758,75	0,02196391	0,37
1	81,64	3,14	0,026	175	43 814,44	0,0231865	0,37

Tabla 5.9 Dimensionamiento de ductos principales

Fuente: Propia

Sin embargo, como se mencionó antes los ductos circulares calculados deberán ser convertidos a su equivalente rectangular. En las tablas 5.10, 5.11 y 5.12 se muestran las dimensiones de los ductos calculados mediante la ecuación de Huebscher aproximados a valores nominales.

Número de rejillas	Caudal (l/s)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Ancho (mm)	Relación altura-ancho
Primer sótano					
1	81,64	175	300	85	3,53

Tabla 5.10 Conversión de ductos circulares a rectangulares en ductos secundarios

Fuente: Propia

Número de rejillas	Caudal (l/s)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Ancho (mm)	Relación altura-ancho
Segundo sótano					
1	81,64	175	300	85	3.53
Tercer sótano					
1	81,64	175	300	85	3,53

Tabla 5.11 Conversión de ductos circulares a rectangulares en ductos secundarios

Fuente: Propia

Número de rejillas	Caudal (l/s)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Ancho (mm)	Relación altura-ancho
Primer sótano					
5	408,30	325	300	300	1,0
4	326,56	300	300	250	1,20
3	244,92	270	300	200	1,5
2	163,28	210	300	130	2,3
1	81,64	175	300	85	3,53
Segundo sótano					
5	408,30	325	300	300	1,0
4	326,56	300	300	250	1,20
3	244,92	270	300	200	1,5
2	163,28	210	300	130	2,3
1	81,64	175	300	85	3,53
Tercer sótano					
5	408,30	325	300	300	1,0
4	326,56	300	300	250	1,20
3	244,92	270	300	200	1,5
2	163,28	210	300	130	2,3
1	81,64	175	300	85	3,53

Tabla 5.12 Conversión de ductos circulares a rectangulares en ductos principales

Fuente: Propia

5.7 Caídas de presión

Con el fin de seleccionar el ventilador, es necesario conocer la contrapresión con la cual el ventilador debe trabajar. Esta contrapresión es la energía que se pierde durante el recorrido del aire a través del sistema de conductos. Esto incluye los accidentes del trayecto como pueden ser codos, transformaciones, rejillas, etc. La resistencia de un sistema se obtiene sumando las pérdidas de presión que se producen a través de las secciones sucesivas del sistema. El ventilador se seleccionará conociendo la presión que debe vencer desde la entrada de aire al sistema de ductos hacia el ventilador y desde el mismo hacia la salida del sistema.

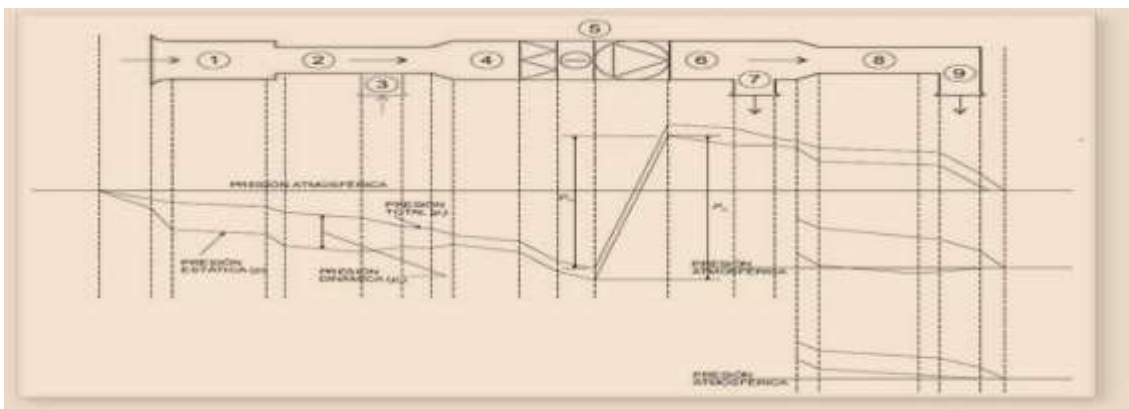


Figura 5.4 Cambios de presión en el flujo de aire en ductos

Fuente: (ASHRAE 2009:21.5)

Los tramos para calcular la caída de presión del sistema se considerarán desde la rejilla de ingreso de aire al sistema, o de extracción, hasta la rejilla de salida de aire del sistema, o de expulsión. Según la figura se observa que la presión estática baja o sube dependiendo como varía el diámetro de la tubería, el cual va a influir sobre las paredes de la misma, es decir cuánto más ancho es la tubería, la presión estática será menor y si la tubería es más angosta la presión estática será mayor. También se observa la presión dinámica, que siempre es positiva y que es provocada por el movimiento del aire. Será mayor a la salida del ventilador. El objetivo es determinar la mayor caída de presión en cada tramo del ducto de cada sótano, para de esta manera poder determinar la potencia del ventilador. Las dimensiones de los tramos considerados se pueden observar en los dibujos adjuntos.

5.7.1 Pérdidas por fricción

Los ductos en todos los tramos del estacionamiento se dimensionaron para una caída de presión de 0.425 Pa/m. Para determinar la caída de presión en cada tramo, será necesario conocer la longitud de todos los tramos rectos entre cada entrada y la salida del sistema.

5.7.2 Pérdidas dinámicas

Las pérdidas de presión dinámicas son causadas por los cambios de dirección y sección por los accesorios. En anexos se presentan los accesorios considerados en cada nivel del estacionamiento, los coeficientes de pérdida C_o y la caída de presión en cada uno de ellos, además se presentan cada accesorio considerados en todos los tramos de cada nivel del estacionamiento.

5.7.3 Pérdidas totales

La caída de presión del sistema será el máximo valor entre todos los valores de los tramos de cada estacionamiento. En la siguiente tabla se muestran las caídas de presión de cada sistema, es decir, en el tramo de mayores pérdidas.

Piso	Tramo	Δp_f (Pa)	Δp_d (Pa)	Δp (Pa)
Sótano 1	AF	10,09	60,42	70,51
Sótano 2	AF	10,95	60,42	71,37
Sótano 3	AF	14,72	60,42	75,13

Tabla 5.13 Caídas de presión por estacionamiento

Fuente: Propia

5.8 Consideraciones para la construcción

Una vez dimensionados los ductos, y habiéndose calculado sus caídas de presión para la selección de los ventiladores, es importante definir los aspectos constructivos del sistema de ductos.

5.8.1 Espesor de los ductos

La Asociación Nacional de Contratistas de Chapa y Aire Acondicionado, **SMACNA** recomienda calibres de ductos rectangulares en base a la presión del sistema. Los calibres de los ductos definen el espesor de la plancha dependiendo del material del ducto. Como el material del sistema de ductos es acero galvanizado, los espesores de la plancha se presentan en la tabla 5.14, 5.15.

Calibre	Espesor (mm)		Masa nominal (kg/m ²)
	Nominal	Mínimo	
30	0,399	0,319	3,20
28	0,475	0,395	3,81
26	0,551	0,471	4,42
24	0,701	0,601	5,64
22	0,853	0,753	6,86
20	1,066	0,906	8,08
18	1,311	1,181	10,52

Tabla 5.14 Espesores de plancha galvanizada

Fuente: (ASHRAE 2008:18.3)

Calibre	Espesor (mm)		Masa nominal (kg/m ²)
	Nominal	Mínimo	
16	1,613	1,463	12,96
14	1,994	1,784	16,01
13	2,372	2,162	19,07
12	2,753	2,523	22,12
11	3,132	2,902	25,16
10	3,510	3,280	28,21

Tabla 5.15 Espesores de plancha galvanizada

Fuente: (ASHRAE 2008:18.3)

Estos calibres varían dependiendo del tipo de refuerzo que se le coloque para cada tamaño de ducto. Para determinar el calibre del ducto, se utilizará el ducto de lado de menor tamaño. Se determinará el valor del calibre para que dicho ducto no requiera reforzamiento. Posteriormente, para el mismo calibre se determinarán los refuerzos, tipo y distanciamiento, para los diferentes tamaños del ducto. Primero, será necesario determinar la clase de presión del ducto:

Clase de presión (pulg.c.a.)	Presión de operación (Pa)
1/2	Hasta 125
1	Mayor que 125 hasta 250
2	Mayor que 250 hasta 500
3	Mayor que 500 hasta 750
4	Mayor que 750 hasta 1 000
6	Mayor que 1 000 hasta 1 500
10	Mayor que 1 500 hasta 2 500

Tabla 5.16 Clase de presión en ductos

Fuente: (SMACNA 1998:1.5)

Con ello, en los 3 niveles del estacionamiento se definen las clases de presión en los ductos para poder determinar el calibre de cada uno de ellos.

Piso	Clase de presión (pulg.c.a.)	Menor lado de ducto (mm)	Calibre	Espesor (mm)
Primer sótano	1/2	225	22	0,853
Segundo sótano	1/2	225	22	0,853
Tercer sótano	1/2	225	22	0,853

Tabla 5.17 Determinación del espesor de ductos

Fuente: Propia

CAITULO VI: SELECCIÓN DE EQUIPOS DEL PROYECTO.

SELECCIÓN DE EQUIPOS

6.1 Selección del ventilador

Los parámetros para la selección de los ventiladores para los 3 estacionamientos se presentan en la tabla 6.1.

Parámetro	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3
Caudal de ventilación	Q_v	l/s	979,69	1 175,62	1 175,62
Caídas de presión	Δp	Pa	70,51	71,37	75,13
Temperatura del aire	T	°C	20		
Densidad del aire	ρ	kg/m ³	1.20		

Tabla 6.1 Parámetros de selección de ventiladores

Fuente: Propia

Sin embargo, un ventilador debe ser seleccionado también considerando la aplicación que tendrá.

Los sistemas de ventilación en estacionamientos deben ser diseñados considerando que, en caso de un incendio, el sistema pueda apoyar con la extracción del humo que se produce. Por ello, se recomienda que el sistema de ventilación en un estacionamiento pueda funcionar a una temperatura de por lo menos 400° C (Salvador Escoda 1998:103). Los ventiladores suelen ser fabricados

de acero o de aluminio. Tomando en consideración la recomendación anterior, un ventilador de aluminio no resistiría las altas temperatura del humo de un incendio. Por lo tanto, se seleccionará un ventilador de acero.

Por otra parte, como se mencionó en el capítulo 1, como los ventiladores axiales trabajan a bajas presiones y los sistemas se encuentran en el rango de presión media, se seleccionará un ventilador centrífugo. Sin embargo, también es importante definir el tipo de rotor. Los rotores de alabes curvados hacia adelante no son recomendados para ambientes polvorientos y giran a baja velocidad, por lo que el sistema de transmisión sería más costoso. Los de alabes curvados hacia adelante son comúnmente usados para el transporte de material, debido a que por su configuración, evita la acumulación de partículas sobre los álabes. A su vez, los de álabes curvados hacia atrás también presentan problemas de adhesión de partículas. Sin embargo, este problema puede ser solucionado por medio de filtros, ya que la cantidad de partículas sólidas en el humo de los vehículos es poca en comparación con sistemas industriales. Además, debido a su alta eficiencia y mayor velocidad de giro, un ventilador con rotor de álabes curvados hacia atrás se presenta como una mejor solución en lugar que uno radial o de curvado hacia adelante.

Con estos valores se podrán seleccionar los ventiladores para el sistema de extracción de cada uno de los estacionamientos. Los ventiladores seleccionados se indican en la tabla 6.2.

Parámetro	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3
Marca	-	LOREN COOK	LOREN COOK	LOREN COOK
Modelo	-	445CF	445CF	445CF
Potencia del motor	kW	8,7	10,0	11,6
Velocidad	rpm	617	645	677
Ruido	dBA	75	76	77
Eficiencia	%	74	74	74
Transmisión	-	Poleas	Poleas	Poleas

Tabla 6.2 Ventiladores seleccionados

Fuente: Propia



Figura 6.1 Ventilador centrífugo. Serie CF LOREN COOK

Fuente: (LOREN COOK 2009:16)

Los ventiladores que han sido seleccionados corresponden a la Empresa Loren Cook, serie CF. Ellos están certificados por Underwriters Laboratories para uso comercial e industrial (UL 705), para el control de humo y por AMCA para el manejo de aire. Las curvas de los ventiladores seleccionados se están en los Gráficos Correspondientes.

6.2 Selección del motor eléctrico

6.2.1 Cálculo de potencia del motor

Seleccionar el motor eléctrico que accionará el ventilador requiere primero determinar la potencia que necesita el mismo. Esta potencia se puede determinar mediante la siguiente ecuación.

$$P_v = \frac{Q_v * \Delta p}{10^6 * n_v} \quad (6.1)$$

Entonces:

P_v : Potencia requerida por el ventilador, en kw.

Q_v : Caudal del ventilador, en l/s.

Δp : Caída de presión del sistema, en Pa.

n_v : Eficiencia del ventilador.

Mediante un elemento de transmisión el motor entregará la potencia al ventilador, considerando una eficiencia de transmisión de 95%. El elemento de transmisión elegido es una faja trapezoidal.

$$P_{e.m.} = \frac{P_v}{n_t}$$

(6.2)

Entonces:

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

n_t : Eficiencia de la transmisión.

El modelo de motor a seleccionar será de 4 polos, trifásico, de 60 Hz, modelo W22 IE3 Premium Efficiency, de la marca WEG.

Parámetro	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3
Caudal de ventilación	Q_v	l/s	979,69	1 175,62	1 175,62
Caída de presión del	Δp		809,16	822,89	857,46
Eficiencia del ventilador	η_v	-	70	70	70
Potencia del ventilador	P_v	kW	1,16	1,41	1,47
Eficiencia de transmisión	η_t	-	93	93	93
Potencia entregada por	$P_{e.m}$	kW	1,25	1,51	1,58
Potencia nominal del motor	$P_{n.m}$	kW	2,20	2,20	2,20

Tabla 6.3 Selección del motor eléctrico

Fuente: propia

Con los cálculos iniciales, para el motor del sótano 1, de 1,25 Kw, obtenemos un tiempo de aceleración de 5.82s, muy cercano al

tiempo máximo recomendado. Por tanto elegimos un motor de 2.20 Kw para que tenga un tiempo suficiente de arranque.

6.2.2 Tiempo de aceleración en el arranque del motor

En el arranque del motor es necesario verificar si podrá cumplir con las condiciones de trabajo sin sobrecalentarse.

En el tiempo de aceleración del motor, la corriente se encuentra en su valor máximo, y al mantenerse con ese valor por un tiempo prolongado, el calor generado puede causar efectos negativos. En estas circunstancias es necesario, determinar el tiempo de aceleración o de puesta en marcha y verificar que no supere los valores recomendados en la tabla 6.4.

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

Tabla 6.4 Tiempo de aceleración máximo

Fuente: (Vargas-Machuca 1990:252)

El tiempo de aceleración del motor se determinará mediante la siguiente ecuación:

$$t_a = \frac{2 \cdot \pi}{60} * n_1 * \left(\frac{J_m + J_e}{T_{mmed} - T_{rmed}} \right) \quad (6.3)$$

Entonces:

J_m : Inercia del motor, en kg-m².

J_e : Inercia de la carga referida al eje del motor, en kg-m².

n_1 : Velocidad de rotación del motor, en rpm.

t_a : Tiempo de aceleración del motor, en s.

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

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

El momento de inercia del motor se obtiene del catálogo. Dicho valor se obtendrá de un extracto del catálogo del ventilador. Sin embargo, el momento de inercia de la carga referido al motor, cuando la carga no tiene un acople directo, depende de la relación de transmisión. La carga se refiere al rodete del ventilador, cuya inercia se debe vencer para lograr el funcionamiento del ventilador. Dicho valor se obtendrá de un extracto del catálogo del ventilador. Para efectos de cálculo se desprecia el valor inercial de las poleas y fajas.

J_{carga} : Inercia de la carga, en kg-m².

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

(6.4)

i : Relación de transmisión.

La relación de transmisión viene dada por la siguiente expresión.

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

(6.5)

n_2 : Velocidad de rotación del ventilador, en rpm.

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

$$T_{med} = 0.45 * \left(\frac{T_p}{T_N} + \frac{T_{max}}{T_N} \right) * T_N * 9.81 \quad (6.6)$$

Por el cual:

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

T_{max} : Torque máximo, en kgf-m.

T_N : Torque nominal, en kgf-m.

Los valores de la relación entre los torques de arranque y el máximo con respecto al torque nominal, y este último, se presentan comúnmente en los catálogos de motores.

El torque resistente medio es el torque que se requiere entregar durante la operación normal referido al motor.

$$T_{med} = \frac{T_v}{i} \quad (6.7)$$

T_v : Torque del ventilador, en N-m.

Siendo el torque del ventilador:

$$T_v = \frac{1000 * P_v}{\omega_2}$$

(6.8)

P_v : Potencia del ventilador, en rad/s.

ω_2 : Velocidad angular del ventilador, en rad/s.

Con los valores hallados se puede determinar los tiempos de aceleración de los motores. Luego se debe verificar que el tiempo de puesta en marcha no supere el tiempo de rotor bloqueado del motor.

Parámetro	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3
Inercia del motor	Jm	kg-m ²	0,0097	0,0097	0,0097
Velocidad de rotación del motor	n1	rpm	1 740	1 740	1 740
Velocidad de rotación del ventilador	n2	rpm	1 507	1 062	1 615
Relación de transmisión	i	-	1,155	1,627	1,615
Inercia del rodete del ventilador	Jcarga	kg-m ²	0,676	1,56	1,56
Inercia de la carga referida al motor	Je	kg-m ²	0,50	0,589	0,598
Torque nominal del motor	TN	kgf-m	1,235	1,235	1,235
Torque de arranque respecto al nominal	TP/TN	-	3,8	3,8	3,8
Torque máximo respecto al nominal	Tmáx/TN	-	3,7	3,7	3,7
Torque de motor medio	Tmed	N-m	40,85	40,85	40,85
Potencia del ventilador	Pv	kW	1,16	1,41	1,47
Velocidad angular del ventilador	ω_2	rad/s	157,81	111,95	112,78
Torque del ventilador	Tv	N-m	7,35	12,59	13,00
Torque resistente medio	Tmed	N-m	6,364	7,738	8,05
Tiempo de aceleración	ta	s	2,69	3,29	3,38
Tiempo de rotor bloqueado	trb	s	24	24	24

Tabla 6.5 Cálculo del tiempo de aceleración de los motores

Fuente: Propia

	Arranque directo	Arranque estrella-triángulo	Arranque por resistencia estática	Arranque con autotransformador
Corriente de arranque	$4 - 8 I_{nom}$	$1,3 - 2,6 I_{nom}$	$4,5 I_{nom}$	$1,7 - 4 I_{nom}$
Torque de arranque	$0,6 - 1,5 T_{nom}$	$0,2 - 0,5 T_{nom}$	$0,6 - 0,85 T_{nom}$	$0,4 - 0,85 T_{nom}$
Tiempo de arranque	$2 - 3 s$	$3 - 7 s$	$7 - 12 s$	$7 - 12 s$
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Arrancador simple - Torque de arranque importante 	<ul style="list-style-type: none"> - Arrancador relativamente barato - Buena relación torque/intensidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Posibilidad de regulación de los valores de arranque - No hay corte de alimentación durante el Arranque 	<ul style="list-style-type: none"> - Buena relación torque/intensidad - Posibilidad de regulación de los valores de arranque. - No hay corte de alimentación durante el arranque
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Pico de intensidad muy importante. - Asegurarse que la red admite el pico - No permite un arranque lento y Progresivo 	<ul style="list-style-type: none"> - Poco par de arranque - No hay posibilidad de regulación - Corte de la alimentación en la conmutación de Y a Δ y fenómenos transitorios. - Conexión final en triángulo para U_{nom} 	<ul style="list-style-type: none"> - Pequeña reducción del pico de arranque. - Necesita resistencias. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesita un autotransformador costoso

Tabla 6.6 Métodos de arranque para motores trifásicos asíncronos

Fuente: (Martí Sala 2012:25)

Según los resultados obtenidos, el tiempo de aceleración de los motores no exceden los 6 segundos, que es el tiempo para motores de hasta 5 Kw. Tampoco supera el tiempo de rotor bloqueado del motor seleccionado

6.2.3 Método de arranque de los motores

Durante el arranque del motor, se van a producir picos de corriente muy elevados, lo que puede producir una alta caída de tensión. Por este motivo se opta por utilizar métodos de arranque para los motores. La siguiente tabla, muestra las características de los distintos métodos de arranque:

Después de analizar los métodos de arranque que hay para los motores, determinamos que el arranque estrella-triángulo se muestra como la mejor opción por su baja corriente de arranque. También es necesario verificar si el torque de arranque podrá vencer la inercia de la carga. En un arranque estrella-triángulo, la corriente y el torque de arranque se reducen a un tercio de los valores que tiene un arranque directo.

Parámetro	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3
Inercia del motor	J_m	kg-m ²	0,0097	0,0097	0,0097
Inercia de la carga referida al motor	J_e	kg-m ²	0,50	0,50	0,50
Torque nominal del motor	T_N	kgf-m	1,235	1,235	1,235
Torque de arranque respecto al nominal	T_p/T_N	-	3,80	3,80	3,80
Torque máximo respecto al nominal	$T_{máx}/T_N$	-	3,70	3,70	3,70
Torque de motor medio	T_{med}	N-m	40,85	40,85	40,85
Torque resistente medio	T_{rmed}	N-m	6,364	7,738	8,05
Tiempo de aceleración	t_a	s	2,69	3,29	3,38

Tabla 6.7 Valores de Verificación del Tiempo y Torque en el arranque estrella-triángulo

Fuente: Propia

Los nuevos tiempos de aceleración no superan el tiempo máximo ni el tiempo de rotor bloqueado del motor. Por esta razón se utilizará un sistema de arranque estrella triángulo.

6.3 Las Fajas de Transmisión. Métodos de Selección

Para la transmisión de potencia entre los motores y los ventiladores se utilizará el método de selección Optibelt en el cual se seleccionará las fajas de tipo trapeciales.

El método de selección de fajas Optibelt consiste en lo siguiente:

1. Selección del perfil de la faja
2. Determinar los diámetros de referencia de las poleas
3. Determinar la distancia entre ejes
4. Determinar el número de fajas



Figura 6.2 Procedimiento para la selección de fajas

Los perfiles de las fajas trapeciales estrechas Optibelt SK obedecen a la norma DIN 7753 Parte 1.y las poleas acanaladas trapeciales obedecen a la norma DIN 2211.

6.3.1 Selección del perfil de la faja

El catálogo de Optibelt muestra tipos y recomendaciones de perfiles de fajas según la potencia y velocidad de rotación del elemento motriz a la que se encuentra sometida. Esta potencia teórica se define como la potencia de trabajo multiplicado por un factor de carga C_2 :

$$P_B = P_{e.m} * c_2$$

(6.9)

En la fórmula:

c_2 : Factor de carga.

P_B : Potencia teórica en kw.

$P_{e.m}$: Potencia en el eje del motor, en kw.

El factor de carga C_2 es un valor que depende del tipo de elemento motriz y conducido y tiempo de servicio. El tiempo de servicio diario de los sistemas de ventilación en un edificio de vivienda se puede considerar entre 10 y 13 horas, debido a que, en las peores condiciones de trabajo, puede estar encendido durante toda una jornada (7 am – 8 pm). Los motores seleccionados poseen torques de arranque mayores a 1.8 veces el torque nominal. Como el encendido y apagado del sistema depende del nivel de monóxido en el estacionamiento, la alta corriente generada por el arranque de los motores puede sobrecargar el motor. El tipo de elemento conducido, o máquina accionada, son ventiladores de más de 1 Kw, por lo que se considerarán como transmisiones medias. Por lo tanto, el factor de carga según catálogo será 1.2.

Los perfiles recomendados para la transmisión de los sistemas de ventilación de los tres niveles del estacionamiento, se presentan a continuación:

Parámetro	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3
Potencia de trabajo	$P_{e.m}$	kW	2,20	2,20	2,20
Factor de carga	c_2	-	1,1	1,1	1,1
Potencia teórica	P_B	kW	2,40	2,40	2,40
Velocidad de rotación del motor	n_1	rpm	1 740	1 740	1 740
Tipo de perfil	-	-	SPZ	SPZ	SPZ

Tabla 6.8 Selección del perfil de faja SPZ

Fuente: Propia

6.3.2 Determinación de diámetros de referencia de poleas

Para determinar los diámetros de referencia de las poleas se puede utilizar la siguiente relación:

$$D_{d1} \geq 2 * d_{e.m}$$

(6.10)

Siendo:

D_{d1} : Diámetro de referencia de la polea motriz.

$d_{e.m}$: Diámetro del eje del motor.

Con el valor inicial se selecciona el diámetro de la polea de referencia inmediatamente superior. Luego, se puede calcular el diámetro de referencia de la polea conducida utilizando la relación de transmisión.

$$i = \frac{D_{d2}}{D_{d1}} = \frac{n_1}{n_2}$$

(6.11)

Siendo:

i : Relación de transmisión.

D_{d2} : Diámetro de referencia de la polea conducida.

n_1 : Velocidad de rotación del motor.

n_2 : Velocidad de rotación del ventilador.

Es posible que el diámetro de la polea conducida no sea un valor exacto, por lo que se puede aproximar al valor más próximo del catálogo. Con esta aproximación, la velocidad de rotación del elemento conducido no coincidirá con la necesitada. Con un error relativo de cercano a 1 % es aceptable el uso del valor seleccionado.

$$e = \frac{|n'_2 - n_2|}{n_2} * 100\%$$

(6.12)

Entonces:

e : Error relativo en porcentaje.

n'_2 : Nueva velocidad de rotación del ventilador. Para el caso del primer sótano:

Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor
Diámetro del eje del motor	$d_{e.m}$	mm	24
Diámetro de referencia de la polea motriz calculado	$D_{d1.calc}$	mm	63
Diámetro de referencia de la polea motriz	D_{d1}	mm	63
Velocidad de rotación del motor	n_1	rpm	1 740
Velocidad de rotación del ventilador	n_2	rpm	1 507
Relación de transmisión	i	-	1,155
Diámetro de referencia de la polea conducida calculado	$D_{d2.calc}$	mm	72,74
Diámetro de referencia de la polea conducida	D_{d2}	mm	72
Nueva relación de transmisión	i'	-	1,143
Velocidad de rotación del ventilador nueva	n'_2	rpm	1 522,50
Error relativo	e	%	1

**Tabla 6.9 Determinación de los diámetros de las poleas de referencia
Y el error relativo para el primer sótano**

Fuente: Propia

El error relativo en el primer sótano es bastante aproximadamente igual al 1 % por lo que se acepta el valor de los diámetros de referencia de las poleas.

Parámetro	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3
Diámetro del eje del motor	$d_{e.m}$	mm	24	24	24
Diámetro de referencia de la polea motriz calculado	$D_{d1.calc}$	mm	48	48	48
Diámetro de referencia de la polea motriz	D_{d1}	mm	72	72	72
Velocidad de rotación del motor	n_1	rpm	1 740	1 740	1 740
Velocidad de rotación del ventilador	n_2	rpm	1 507	1 062	1 061,70
Relación de transmisión	i	-	1,1546	1,638	1,638
Diámetro de referencia de la polea conducida calculado	$D_{d2.calc}$	mm	72,73	116,32	116,32
Diámetro de referencia de la polea conducida	D_{d2}	mm	100	118	118
Nueva relación de transmisión	i'	-	1,38	1,64	1,64
Velocidad de rotación del ventilador nueva	n'_2	rpm	621,5	1 046,95	1 061,70
Error relativo	e	%	1,0	1,4	1,42

Tabla 6.10 Determinación de los diámetros de referencia de las poleas para los tres sótanos

Fuente: Propia

La nueva velocidad de rotación de los ventilador con los juegos de poleas correspondientes con respecto a la velocidad requerida varían en aproximadamente 1%, dichos diámetros de referencia serán seleccionados.

6.3.3 Distancia entre ejes de las poleas

Se recomienda que la distancia entre los centros de los ejes se encuentren entre 0.7 y 2 veces, la suma de los diámetros de referencia de la polea motriz y la conducida. Para determinar la distancia entre ejes se empieza por asumir una distancia inicial que luego se corregirá para valores normalizados de longitudes desarrolladas de las fajas.

La distancia “ α ” entre centros asumida será el punto medio entre el valor máximo y mínimo del rango recomendado. De la ecuación

$$a_{asumido} = \frac{(0.7 + 2) * (D_{d1} + D_{d2})}{2} \quad (6.13)$$

$a_{asumido}$: Distancia entre ejes asumida, en mm.

Debido a que la distancia real entre centros es dependiente de los diámetros de las poleas y la longitud desarrollada de la faja, es necesario determinar su valor. La longitud desarrollada aproximada de la faja sería determinada mediante la ecuación:

$$L_{dth} = 2 * a_{asumido} + 1.57 * (D_{d1} + D_{d2}) + \frac{(D_{d2} - D_{d1})^2}{4 * a_{asumido}} \quad (6.14)$$

L_{dth} : Longitud desarrollada aproximada, en mm.

El valor de la longitud desarrollada es normalizado, entonces se debe elegir en el catálogo el valor valores más próximos y determinar nuevamente la distancia entre centros. La distancia entre centros con valores de longitud desarrollada y normalizados se calcula con la ecuación:

$$L_{dst} > L_{dth}, \quad a = a_{asumido} + \frac{(L_{dst} - L_{dth})}{2} \quad (6.15)$$

$$L_{dst} < L_{dth}, \quad a = a_{asumido} - \frac{(L_{dth} - L_{dst})}{2} \quad (6.16)$$

L_{dst} : Longitud desarrollada normalizada, en mm.

a : Distancia entre ejes real, en mm.

Se puede determinar las distancias de ajuste mínimo para el montaje y tensado de las fajas con fórmulas indicadas en el catálogo.

Por último, se debe verificar la velocidad y frecuencia de flexión en la faja, cuyos valores no pueden exceder los 26 m/s de velocidad y la frecuencia de flexión los 40 Hz (Álvarez 2012).

$$v_f = \frac{D_{d1} * n_1}{19100} \quad (6.17)$$

$$f_f = \frac{2 * 1000 * v_f}{L_{dst}} \quad (6.18)$$

v_f : Velocidad de la faja, en m/s.

f_f : Frecuencia de flexión de la faja, en Hz.

Parámetro	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3
Diámetro de referencia de la polea motriz	Dd1	mm	72	72	72
Diámetro de referencia de la polea conducida	Dd2	mm	100	118	118
Distancia entre centros asumida	asumido	mm	232,20	256,50	256,50
Longitud desarrollada aproximada	Ldth	m	835,24	813,36	813,36
Longitud desarrollada normalizada	LdSt	mm	825	812	812
Distancia entre ejes real	a	mm	226,93	255,82	255,82
Ajuste para tensado	x	mm	15	15	15
Ajuste para montaje	y	mm	15	15	15
Velocidad de faja	vf	m/s	6,56	6,56	6,56
Frecuencia de flexión	ff	Hz	15,90	16,16	16,165

Tabla 6.11 Parámetros de cálculo para la distancia entre ejes de los tres sótanos

Fuente: Propia

Según los valores de velocidad y frecuencia obtenidos, cumplen, se puede calcular el número de fajas trapeciales que se necesitan.

6.3.4 Número de fajas

Para determinar el número de fajas que resistirán la potencia de trabajo transmitida será necesario calcular la potencia nominal de cada faja (para ángulo de contacto de 180° y longitud de desarrollo de 1600 mm) y los factores de corrección que consideran el ángulo de contacto de la faja y la flexión de la faja basado en el desarrollo de referencia para el perfil de la faja, de la ecuación:

$$Z = \frac{P_B}{(P_N + P_S) * c_1 * c_3}$$

(6.19)

Z : Número de fajas.

c₁ : Factor de ángulo de contacto.

c₃ : Factor de desarrollo.

P_N : Potencia nominal por faja, en kw.

P_S : Suplemento de potencia por faja, en kw.

El factor de corrección por ángulo de contacto se encuentra en el catálogo y depende del ángulo de contacto, que a su vez depende de los diámetros de las poleas y la distancia entre centros. De la ecuación:

$$\cos \frac{\beta}{2} = \frac{D_{d2} - D_{d1}}{2 * a}$$

(6.20)

β : Ángulo de contacto, en grados.

El factor de corrección por desarrollo, para fajas trapeciales se encuentra en el catálogo y depende únicamente de la longitud de desarrollo de la faja. Por otra parte, la potencia nominal de la faja de perfil SPZ se halla en el catálogo en base a la velocidad de rotación del motor y al diámetro de la polea motriz. Se incluye también, un suplemento de potencia en base a

la relación de transmisión. Si los valores de velocidad rotacional no son exactos, se interpolarán los valores de potencia.

Parámetro	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3
Diámetro de referencia de la polea motriz	Dd1	Mm	72	72	72
Diámetro de referencia de la polea conducida	Dd2	Mm	100	100	100
Distancia entre ejes efectiva real	A	Mm	226,93	255,82	255,82
Ángulo de contacto	β	°	198	176,76	176,76
Factor de ángulo de contacto	c1	-	1	1	1
Factor de desarrollo	c3	-	0,8	0,8	0,8
Potencia teórica	PB	Kw	2,42	2,42	2,42
Potencia nominal	PN	Kw	2,20	2,20	2,20
Suplemento de potencia	PS	Kw	2,872	2,872	2,872
Número de fajas calculado	z	-	0,548	0,548	0,548
Número de fajas real	z'	-	1	1	1

Tabla 6.12 Parámetros en la Determinación del número de fajas trapeciales

Fuente: Propia

En conclusión, se necesitará para el primer sótano 1 faja trapecial estrecha de perfil SPZ de longitud 2037 mm y 1 polea con diámetros 125 1 canal trapecial. Para el segundo sótano se necesitará 1 faja del mismo tipo de longitud 1462 mm y 1 poleas de diámetros 90 mm con 1 canal. Para el tercer sótano se necesitará 1 faja de longitud 1662 mm y 1 polea de diámetros 106 mm con 1 canal trapeciales.

6.4 Aislamiento de vibraciones

Para el Aislamiento de vibraciones, la compañía LOREN COOK presenta un método básico para su selección:

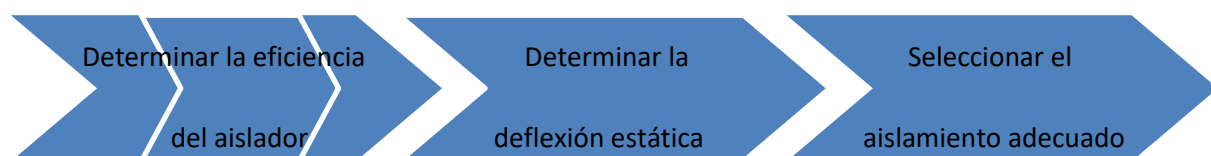


Figura 6.3 Método de selección de aisladores de vibración

La metodología consiste en determinar la eficiencia del aislador a partir de la velocidad de rotación del ventilador utilizando la tabla 6.13, como primer paso.

Velocidad de rotación (rpm)	Eficiencia del aislador (%)	
	Estándar	Crítico
0 – 450	75	90
451 – 850	90	95
851 >	95	97

Tabla 6.13 Eficiencia del aislador

Fuente: LOREN COOK 2004:4

La velocidad de rotación en todos los ventiladores son superiores a 851 rpm, la eficiencia del aislador será de 95%. Con este valor se determina la deflexión estática por medio de la siguiente gráfica.

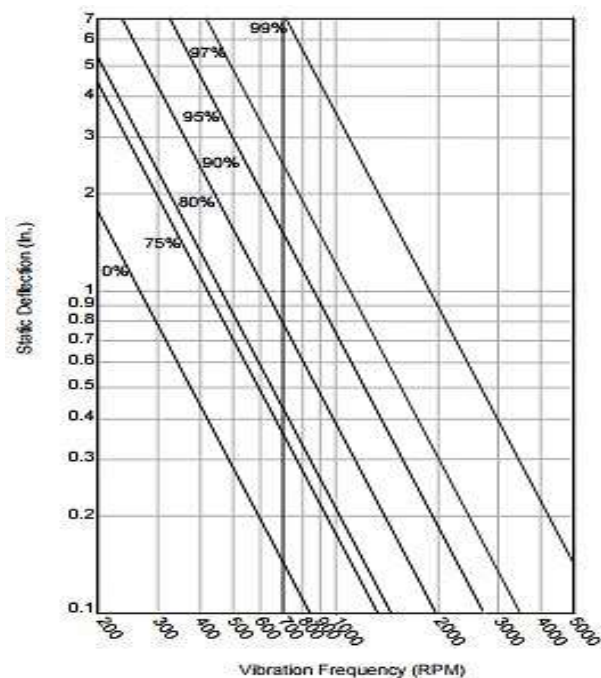


Figura 6.4 Gráfica. Deflexión estática vs frecuencia de vibración

Fuente: (LOREN COOK 2004:3)

De la gráfica de la figura 6.4 se determina que para el ventilador para el primer sótano la deflexión estática es de 0.5", para el segundo y tercer sótano es de 0.65".

El paso siguiente será seleccionar el aislador en base a la deflexión obtenida y la aplicación que se le dé al ventilador, de acuerdo a la tabla 6.14.

DEFLEXIÓN	APLICACIÓN	TIPO DE AISLADOR
0,25"	Piso	RF (Rubber-In-Shear Floor)
	Techo	RC (Rubber-In-Shear Ceiling)
0,5"	Piso	RF2 (Rubber-In-Shear Floor)
	Techo	RC2 (Rubber-In-Shear Ceiling)
1" - 4"	Piso	
	Interior	SF (Open Spring – Floor)
	Exterior/Movimiento restringido	RS (Restrained Spring – Floor)
	Interior/Movimiento lateral limitado	HF (Housed Spring – Floor)
	Techo	SC (Open Spring Ceiling)

Tabla 6.14 Tipos y aplicaciones de aisladores

Fuente: LOREN COOK 2004:4

La deflexión de los aisladores en los sótanos está entre 0.50" 0.65", y la aplicación es en el piso, en el interior del estacionamiento, utilizándose para este caso un aislador tipo SF.



Figura 6.5 Aislador de vibraciones Tipo SF

Fuente: (LOREN COOK 2004:5)

6.5 Sensor de monóxido de carbono

En los sótanos, el sistema de extracción se activará cuando la señal sea emitida por alguno de los sensores de monóxido de carbono, distribuidos en cada

estacionamiento, al percibir una concentración de 25 ppm o mayor. Para la selección de los sensores se cuentan con los siguientes parámetros:

Parámetros	Valor
Concentración de CO	25, 35, 50 y 100 ppm
Frecuencia de muestreo	15 minutos
Cobertura mínima	465 m ²

Tabla 6.15 Parámetros de selección de sensores monóxido de carbono

Fuente: <http://www.segman.com/pdf/macurco/cm6.pdf> **Aerionics 2013:1**

El sensor de monóxido seleccionado es de la marca CM-6 Controls que tiene las siguientes características:

Rango	0-200 ppm
Precisión	5%
Elemento sensor	Electroquímico
Tensión	12-24 AC/DC
Utilización	Espacio abierto
Cobertura	465 m ²
Otros	Alarma auditiva

Tabla 6.16 Características del detector de CO, CM-6

Fuente: <http://www.segman.com/pdf/macurco/cm6.pdf> **Aerionics 2013:1**



Figura 6.6 Detector de monóxido de carbono CM-6

Fuente: <http://www.segman.com/pdf/macurco/cm6.pdf> **Aerionics 2013:1**

Las especificaciones del sensor seleccionado se encuentran en el catálogo.

CAPITULO VII: INSTALACIONES ELECTRICAS DEL PROYETO

INSTALACIONES ELECTRICAS

7.1 Diseño de la instalación eléctrica

Los motores eléctricos que accionan a los ventiladores en cada nivel, deben ser instalados de siguiendo un diseño elaborado y para eso se debe seguir los siguientes pasos:

1. Ubicar los equipos y tableros de ventilación y general.
2. Dimensionar el calibre de los conductores.
3. Seleccionar los dispositivos de protección para los equipos.
4. Diseñar el circuito de mando para los motores, ventiladores y detectores de CO.
5. Diseñar un diagrama unifilar de alambrado, mando y potencia.

7.2 Distribución de los tableros

Todos los equipos se encuentran ubicados en el primer sótano, por lo que es necesario tener un tablero general que gobierne los tres niveles. El tablero de ventilación deberá ser conectado al tablero general de los estacionamientos, que controla a los otros sistemas, como alumbrado, tomacorrientes, aire acondicionado, etc. En los planos correspondientes se puede apreciar la distribución de los equipos y los tableros.

7.3 Dimensionamiento de los conductores

Para instalaciones de baja tensión, que son instalaciones doméstica e industrial con voltajes menores a 1kV, se utilizan conductores de cobre electrolítico. El calibre del conductor se encuentra dado por el área de la sección transversal en mm^2 . Esta designación es el sistema oficial en nuestro país (Designación Métrica ó IEC). Hay varios tipos de conductores, según su aplicación, siendo los TW, THW y CPI los más comunes en nuestro país.

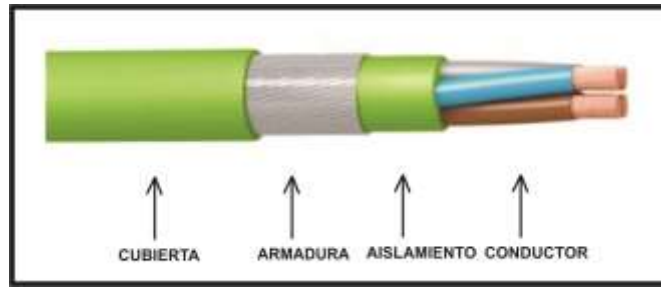


Figura 7.1 Componentes de un conductor

Fuente: <http://www.topcable.com/blog-electric-cable/componentes-de-un-cable-electrico/>

La metodología para el dimensionamiento de conductores según la norma IEC 60634-5-52 señala que la capacidad de carga de los conductores depende de su método de instalación. Estos valores serán corregidos en base a la agrupación de los conductores y la temperatura de operación.

7.3.1 El Alimentador

Según el Código Nacional de Electricidad, los conductores que alimenten un grupo de 2 o más motores deben tener una capacidad de conducción de corriente no menor que:

1. 125% de la corriente nominal a plena carga del motor mayor, más la corriente nominal a plena carga de todos los otros motores, cuando todos los motores son utilizados en un régimen continuo; o
2. La suma de las corrientes calculadas de acuerdo a la regla 160-106 (2) para cada motor, cuando todos los motores del grupo son para uso en un régimen de servicio no continuo; o
3. El total de los siguientes valores, cuando el grupo consista de dos o más motores para su uso en ambos regímenes de servicio continuo y no continuo:
 - a. 125% de la corriente del motor con la mayor corriente nominal a plena carga, para su uso en régimen de servicio continuo; y
 - b. La corriente nominal a plena carga de todos los otros motores para su uso en régimen de servicio continuo; y

- c. La corriente calculada de acuerdo con la regla 160-106 (2) para los motores con régimen de servicio no continuo.

La regla 160-106 (2) mencionada, establece que los conductores de un circuito derivado que alimenta un motor con un régimen de servicio no continuo deben tener una capacidad de conducción no menor que el valor resultante de multiplicar la corriente nominal a plena carga del motor, por el porcentaje aplicable que corresponde al régimen de servicio. Los porcentajes mencionados anteriormente se encuentran indicados en la tabla 7.1.

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, tornamesas, etc.	85	85	90	140
Periódico Máquinas para manipulación de minerales y Carbón, rodillos, etc.	85	90	95	140
Variable	110	120	150	200

Tabla 7.1 Determinación de las secciones del conductor para motores según diferentes requerimientos de servicio

Fuente: (MINEM 2006:T.61)

De acuerdo a la tabla se puede elegir **la clase de servicio de los sistemas de ventilación como intermitente**. Al determinar el tiempo de trabajo de los sistemas, se utilizará el tiempo que se tomará en extraer el volumen de aire del estacionamiento.

Parámetro	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3
Caudal de ventilación	Q_v	l/s	475	425	410
Volumen	V	m ³	1 433,50	1 137,40	1 160,90
Tiempo de trabajo	$t_{trabajo}$	min	24,39	16,12	16,44

Tabla 7.2 Tiempo de trabajo estimado de los ventiladores en los estacionamiento

Fuente: Propia

De acuerdo a los valores hallados y según la tabla, se utilizará un 85% de la corriente nominal de los motores para el cálculo de los conductores. Utilizando los valores de corriente nominal de los motores, la capacidad de corriente del alimentador deberá ser mayor a 13.87 A.

Para la determinación de la capacidad de carga de los conductores que alimentan los motores, se deberá establecer primero: su método de instalación. El método de instalación está basado en la norma IEC 60634-5-52 para selección de conductores. Tubos adosados serán utilizados en las paredes para proteger los conductores. Es decir, se está utilizando el método de instalación B1. El aislamiento de los conductores será de material polietileno reticulado (XLPE).

En anexos adjuntos se encuentran los valores de capacidad de carga para los conductores para temperaturas ambiente de 30°C para conductores al aire y 20°C para conductores enterrados. Estos valores serán corregidos con los valores de las tablas según la siguiente expresión:

$$I_{corr} = C_T * C_N * I_{adm}$$

(7.1)

Entonces:

I_{corr} : Capacidad de carga corregida, en A.

I_{adm} : Capacidad de carga admisible, en A.

C_T : Factor de corrección por temperatura.

C_N : Factor de corrección por agrupación.

Según las tablas, para una temperatura de operación de 20°C y 1 circuito en un tubo, se tienen los factores de corrección por temperatura de 1.08 y agrupación de 1.0, respectivamente. Entonces habrá que elegir un conductor con capacidad de corriente mayor a 15.00 A. Según el valor de corriente hallado el conductor seleccionado será de sección 3.31 mm² con capacidad de corriente 25 A.

7.3.2 Equipos

Después de seleccionar el alimentador, que va desde el tablero general del edificio hacia el tablero de ventilación, es necesario dimensionar los conductores que van desde el tablero hacia los ventiladores. Como se mencionó anteriormente, para dimensionar el conductor que alimenta un motor en servicio no continuo, se debe multiplicar su corriente nominal por un factor de servicio. Dicho factor de servicio en este caso es de 85%. Entonces la capacidad de carga corregida de los conductores debe ser mayor a dicho factor multiplicado por la corriente nominal de cada motor. Los conductores para los sótanos 1 y 2 deberán tener una capacidad de carga corregida mayor a 18.87 A, y para el sótano 3 deberá ser mayor a 25.33 A.

Para determinar la capacidad de carga corregida de los conductores, el factor de agrupación varía, debido a que los 3 circuitos irán en la misma tubería. Sin embargo, la temperatura de operación se mantiene invariable. El factor de corrección por agrupación para los 3 circuitos será de 0.7. Entonces, la capacidad de carga nominal del conductor debe ser mayor 24.96 A para los sótanos 1 y 2, para 33.51 A para el tercer sótano. Entonces, se tiene que para los sótanos 1 y 2 se puede utilizar un conductor de 2.5 mm² y para el sótano 3 se puede utilizar un conductor de 4mm².

7.4 Caída de tensión

Para la sección de los conductores seleccionados, se debe verificar que la caída de tensión producida por la circulación de la corriente a través de los mismos no supere los valores establecidos en la tabla 7.3.

Circuito	Caída de tensión
Alimentadores	4%
Circuitos derivados	2.5%
Circuitos de motores	3%
Circuitos de	1%

Tabla 7.3 Caída de tensión admisible

Fuente: (Del Rosario 2013c:35)

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

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

(7.2)

Donde:

$\Delta U\%$: 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.

A : Área de la sección del conductor, en mm²

U : Tensión, en V.

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

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

(7.3)

Entonces:

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

FD : Factor de demanda.

FP : Factor de potencia.

n_m : Eficiencia del motor.

El comportamiento de la carga será considerado por el factor de demanda. Según el tipo de aplicación, el factor de demanda podrá ser igual a 1. La eficiencia

del motor y el factor de potencia se ver en catálogo. Dependen del porcentaje de la potencia nominal que se consume. Para determinarlos, se interpolarán los valores presentados en el catálogo.

La corriente de trabajo del alimentador será considerada como la suma de las corrientes de trabajo de los 3 motores. Entonces, la caída de tensión en los 3 motores y del alimentador desde el tablero de ventilación será:

Parámetro	Símbolo	Unidades	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3	Alimentador
Potencia entregada por el motor	Pe.m	Kw	1,25	1,51	1,58	-
Potencia nominal del motor	Pn.m	kw	2,20	2,20	2,20	-
Eficiencia	Hm	%	93	93	93	-
Factor de potencia	FP	-	0,77	0,77	0,77	-
Potencia consumida por el motor	Pm	kw	0,95	0,69	0,62	-
Factor de demanda	FD	-	1	1	1	-
Tensión de la carga	U	V	220	220	220	220
Corriente de trabajo	It	A	2,29	2,77	2,89	13,87
Distancia del tablero	Lcarga	m	12,00	11,00	13,00	55
Sección nominal del conductor	A	mm ²	2,08	2,08	2,08	3,31
Caída de tensión	$\Delta U\%$	%	0,19	0,20	0,25	3,23

Tabla 7.4 Caída de tensión en los conductores

Fuente: Propia

En los motores, la caída de tensión en porcentaje no superó el 0.25% por lo que los conductores cumplen. Así mismo, la caída de tensión en el alimentador no superó el 4%. Luego para un conductor de 3.31 mm², la caída de tensión en porcentaje es de 3.23%, por lo tanto, dicho conductor cumple.

7.5 Elementos de protección

7.5.1 Protección mecánica

Las tuberías adosadas a la pared que protegen a los conductores deben ser dimensionadas. Para ello es necesario conocer el tipo de aislamiento del conductor. El tipo del aislamiento del conductor será THW, resistente al calor y la humedad. En anexos se presentan los máximos números de

conductores en tuberías livianas o pesadas. Como las tuberías son aéreas, se utilizarán tuberías pesadas de PVC.



Figura 7.2 Tuberías pesadas PVC

Fuente: (SODIMAC PVC)

7.5.1.1 Alimentador

Primero, se dimensionarán las tuberías que protegen a los conductores que van desde el tablero general del edificio hacia el tablero de ventilación. Para conductores de sección nominal 2.08 mm² una tubería de diámetro 15 mm cumpliría con proteger los 4 conductores (3 líneas y neutro). Como la temperatura de máxima de los conductores con aislamiento de XLPE es de 90°C, se recomienda utilizar tuberías con igual temperatura de operación. Sin embargo, según el Código Nacional de Electricidad, se pueden utilizar tuberías de PVC en conductores con temperatura de operación de 90°C si las condiciones de llenado son menores a 50% (MINEM-Anexo B 2006: 13). Es decir, los conductores (con aislamiento incluido) ocupan el 50% o menos del área de la tubería. En la tabla 7.5, se presentan el máximo porcentaje de llenado en conductos y tuberías eléctricas

Tipos de conductor o cable	Número de circuitos 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

Tabla 7.5 Máximo porcentaje de llenado en conductos y tuberías eléctricas

Fuente: (MINEM 2006:T.29)

Como se tiene 1 circuito, el máximo porcentaje de llenado será de 53%. Será necesario determinar el área que abarcan los conductores con aislamiento.

7.5.1.2 Equipos

De igual manera, será necesario dimensionar la protección de los conductores que van desde el tablero de ventilación hacia los motores eléctricos. Para los 3 circuitos (9 conductores, sin neutro), una tubería de 20 mm cumpliría según catálogo. Para 3 circuitos, el porcentaje máximo de llenado es de 40%.

7.5.2 Protección eléctrica

La capacidad de los dispositivos de sobrecorriente para protección de circuitos para motores se seleccionar a partir de la siguiente tabla.

Tipo de motor	Porcentaje de corriente a plena carga		
	Capacidad nominal máxima de fusibles		Ajuste máximo de interruptores del tipo de tiempo límite
	Fusibles con retardo	Fusibles sin retardo	
Corriente alterna Monofásico todos los tipos Jaula de ardilla y síncronos	175	300	250
- Plena tensión, arranque con resistencias y reactores			
Arranque con autotransformador y estrella-triángulo	175	300	250
- No más de 30 A- Más de 30 A			
Rotor bobinado			
Corriente continua	150	150	150

Tabla 7.6 Capacidad nominal de dispositivos de sobrecorrientes para protección de circuitos para motores

Fuente: (MINEM 2006:T.62)

La corriente de arranque directo en los motores de los sótanos 1, 2 y 3 alcanza los 62.0 A. Mediante el arranque estrella triángulo, dicho valor se reduce a un tercio. Por lo que la corriente de arranque alcanza un valor máximo de 20.7 A en los sótanos 1, 2 y 3. Como son motores con corriente nominal de menos de 30 A, la capacidad nominal de un fusible sin retardo puede ser de 250 % el valor de corriente a plena carga.

En nuestro país, los fusibles más utilizados son los fusibles Diazed, o tipo DII. En el caso de los 3 sótanos, se utilizarán fusibles DII rojo 1 5SB1 41 de intensidad nominal 10 A, rosca E27



Figura 7.3 Fusible Diazed o tipo DZ

Fuente: (Del Rosario 2013d:7)

En el caso de los interruptores automáticos de disparo instantáneo, deben tener capacidad nominal o ajuste para disparar a no más del 1300% de la corriente a plena carga del motor, o no más de 215% de la corriente de arranque del motor (MINEM 2006:160.9). Para los 2 primeros sótanos, se utilizarán interruptores de capacidad nominal 60 A y para el sótano 3, un interruptor de capacidad 100 A.

7.6 Sistema de control y potencia

La función principal del sistema de control y potencia es la de controlar el arranque del motor cuando se detecte la señal del sensor de nivel de monóxido. Debe controlar que el método de arranque se ejecute automáticamente. El circuito de mando y potencia funciona de igual manera para los 3 motores de los tres niveles,

por lo que, a continuación, solo se explicará inicialmente la lógica de control del motor del primer sótano.

Con el pulsador S2 normalmente abierto (NA), el sistema se enciende por primera vez. Al cerrarse el circuito, se activará la bobina auxiliar KA1, y a su vez cerrará el contactor de igual nombre. Con esto, el circuito se mantiene encendido a menos que se vuelva a abrir el circuito antes del contactor KA1. Es importante indicar que el ventilador correspondiente aún no está en funcionamiento.

Para que se encienda el motor que mueve al ventilador, alguno de los sensores de monóxido carbono deben detectar una concentración mayor a 25 ppm. Con esto se cerrará el contactor (NA) correspondiente (de S3 a S12). Al cerrarse alguno de estos contactores (S3 a S12), se activará la bobina del contactor KM1, conectando el motor M1 a la red trifásica. A su vez, se conectará la bobina del contactor auxiliar KA2. Esta bobina posee un temporizador que quiere decir que la bobina se activará después de cierto tiempo. A su vez, la bobina del contactor KM3 (NA) conectará al motor en estrella. Una vez que se active KA2, se desconectará KM3 y se conectará la bobina del contactor KM2. Este cambio conectará el motor en triángulo. El tiempo del temporizador debe ser tal que active KA2 cuando el motor se encuentra a 80% de su velocidad nominal. Una vez que la concentración se reduzca a un valor menor que 25 ppm, se desconectará el circuito.

Si falla el ventilador, un medidor de corriente detectará que el motor se encuentra trabajando a un valor de corriente menor al nominal. Si esto sucede, el contacto S37 (NA) se cerrará, iniciando el arranque de los otros dos ventiladores. Al mismo tiempo se activarán las bobinas KD2, KD3, KD4, KD6 y KD7 cerrando los contactores de los motores de los dámpers automáticos 2, 3, 4, 6 y 7. Los dámpers 2, 4 y 7 se cerrarán evitando el flujo de aire hacia el ventilador inoperativo, y evitando que los otros ventiladores extraigan aire de los demás sistemas. Los dámpers 3 y 6 se abrirán, permitiendo el flujo de aire desde el primer sótano hacia los ventiladores destinados para los sótanos 2 y 3. Si en caso uno de los equipos falle, del sótano correspondiente se podrá seguir extrayendo el aire contaminado evitando que se exceda el límite de concentración establecido, hasta que se realice la reparación o sustitución del equipo.

CAPITULOS VIII: COSTOS DEL PROYECTO.

COSTOS

En el presente capítulo, se dará a conocer el costo total del sistema. Este presupuesto incluye los costos de ingeniería, costos de equipos y materiales y los costos de instalación. Se detallarán los equipos y los elementos que forman parte de la fabricación del sistema.

8.1 Costo de ingeniería

El costo de ingeniería del sistema consiste en la remuneración del equipo de trabajo encargado del diseño del sistema y la elaboración de planos del proyecto. En las tablas 8.1 y 8.2 se presentan los costos horarios del equipo de trabajo y los costos totales del diseño del sistema, respectivamente.

Equipo de trabajo	Costo por hora (US\$/h)
Jefe de Ingeniería	40,00
Ingeniero Junior	6,00
Dibujante	4,50

Tabla 8.1 Costos del equipo de trabajo

Fuente: Propia

Equipo de trabajo	Horas de trabajo	Costo total (US\$)
Jefe de Ingeniería	32	1 280,00
Ingeniero Junior	640	2 840,00
Dibujante	40	1 80,00
Costo de ingeniería		4 300,00

Tabla 8.2 Costo del diseño del sistema

Fuente: propia

8.2 Costo de equipos y materiales

Los equipos y dispositivos seleccionados en el capítulo anterior son los siguientes:

Ítem	Equipo	Características	Cant.	Costo unitario (US\$)
1	Ventilador centrífugo	Marca: LOREN COOK, Modelo: 445CF, accesorios incluidos	3	1 365,00
2	Motor eléctrico	Marca: WEG, Modelo: W22 IE3. Potencia: 11 kW, Trifásico, IV polos, 60 Hz, 380 V, 1765 rpm	2	1 466,62
3	Motor eléctrico	Marca: WEG, Modelo: W22 IE3. Potencia: 15 kW, Trifásico, IV polos, 60 Hz, 380 V, 1775 rpm	1	1 221,38
4	Sensor de nivel de monóxido de carbono	Marca: KMC Controls, Modelo: SAE-1102, Rango: 0-300 ppm, Precisión: 5%	6	400,00
5	Rejilla de aleta ajustable	Marca: TROX, Modelo: AF, Tamaño: 825x225 mm, Ajuste: 0-15°	15	218,07
6	Faja trapecial	Marca: Optibelt, Perfil: SPZ, Longitud de desarrollo: 2037 mm	1	8,51
7	Faja trapecial	Marca: Optibelt, Perfil: SPZ, Longitud de desarrollo: 1462 mm	1	5,38
8	Faja trapecial	Marca: Optibelt, Perfil: SPZ, Longitud de desarrollo: 1662 mm	1	6,47
9	Polea acanalada trapecial	Marca: Optibelt, Perfil: SPZ, Diámetro de referencia: 125 mm, Canales: 1	1	56,76
10	Polea acanalada trapecial	Marca: Optibelt, Perfil: SPZ, Diámetro de referencia: 355 mm, Canales: 1	1	215,46
11	Polea acanalada trapecial	Marca: Optibelt, Perfil: SPZ, Diámetro de referencia: 280 mm, Canales: 1	1	189,99
15	Rejilla de aleta fija	Tamaño: 34 x 48 11/16 pulg.	3	293,09
16	Rejilla de aleta fija	Tamaño: 925 x 925 mm	9	210,94
17	Damper automático	Tamaño: 42 pulg	8	1 173,00

Tabla 8.3 Lista de equipos y dispositivos

Fuente: Hidrostal S.A., Electroclima, Tecnifajas S.A.

Ítem	Equipo	Características	Costo total (US\$)
1	Ventilador centrífugo	Marca: LOREN COOK, Modelo: 445CF	2 595,00
2	Motor eléctrico	Marca: WEG, Modelo: W22 IE3. Potencia: 11 kW, Trifásico, IV polos, 60 Hz, 380 V, 1765 rpm	1 933,24
3	Motor eléctrico	Marca: WEG, Modelo: W22 IE3. Potencia: 15 kW, Trifásico, IV polos, 60 Hz, 380 V, 1775 rpm	1 221,38
4	Sensor de nivel de monóxido de carbono	Marca: KMC Controls, Modelo: SAE-1102, Rango: 0-300 ppm, Precisión: 5%	900,00
5	Rejilla de aleta ajustable	Marca: TROX, Modelo: AF, Tamaño: 825x225 mm, Ajuste: 0-15°	986,30
6	Faja trapeciales	Marca: Optibelt, Perfil: SPZ, Longitud de desarrollo: 2037 mm	25,53
7	Faja trapeciales	Marca: Optibelt, Perfil: SPZ, Longitud de desarrollo: 1462 mm	26,90
8	Faja trapeciales	Marca: Optibelt, Perfil: SPZ, Longitud de desarrollo: 1662 mm	25,88
9	Polea acanalada trapecial	Marca: Optibelt, Perfil: SPZ, Diámetro de referencia: 125 mm, Canales: 1	56,76
10	Polea acanalada trapecial	Marca: Optibelt, Perfil: SPZ, Diámetro de referencia: 355 mm, Canales: 1	215,46
11	Polea acanalada trapecial	Marca: Optibelt, Perfil: SPZ, Diámetro de referencia: 280 mm, Canales: 1	189,99
15	Rejilla de aleta fija	Tamaño: 34 x 48 11/16 pulg.	879,27
16	Rejilla de aleta fija	Tamaño: 925 x 925 mm	1 500,56
17	Dámper automático	Tamaño: 42 pulg.	984,00
VALOR TOTAL DE VENTA			11 639,35
I.G.V. (18%)			2 095,08
COSTO TOTAL DE EQUIPOS Y DISPOSITIVOS			13 734,43

Tabla 8.4 Costo total de los dispositivos y equipos seleccionados

Fuente: Propia

En cuanto a la fabricación del sistema de ductos se utilizarán los materiales indicados en la tabla 8.5.

Ítem	Características	Cant.	Costo unitario (US\$)
1	Plancha de acero galvanizado de 4'x8' según ASTM A653.	1 187	19,70
2	Ángulo 1 x 1 x 1/8 pulg. x 6 m. Material: ASTM A36	36	6,05
3	Ángulo 1 ¼ x 1 ¼ x 12 ga. pulg. x 6 m. Material: ASTM A36	32	6,49
4	Ángulo 1 ¼ x 1 ¼ x 1/8 pulg. x 6 m. Material: ASTM A36	115	7,36
5	Ángulo 1 ½ x 1 ½ x 1/8 pulg. x 6 m. Material: ASTM A36	188	10,98
6	Ángulo 2 x 2 x 1/8 pulg. x 6 m. Material: ASTM A36	36	14,73
7	Barra circular de 1/4 pulg. x 6 m. Material: ASTM A36	259	3,08
8	Tuerca hexagonal de 1/4 pulg.	1 320	0,0018
9	Tornillo hexagonal M8 x 25 mm	8 530	0,0086
10	Tuerca hexagonal M8	8 530	0,0033
11	Arandela plana 8 mm	8 530	0,0029

Tabla 8.5 Lista de materiales para fabricación

Fuente: Fierro & Acero Center, TUBISA, Modepsa

Ítem	Características	Costo total (US\$)
1	Plancha de acero galvanizado de 4'x8' según ASTM A653. Recubrimiento: G-60, Calibre: 22.	2 383,90
2	Ángulo 1 x 1 x 1/8 pulg. x 6 m. Material: ASTM A36	217,80
3	Ángulo 1 ¼ x 1 ¼ x 12 ga. pulg. x 6 m. Material: ASTM A36	207,68
4	Ángulo 1 ¼ x 1 ¼ x 1/8 pulg. x 6 m. Material: ASTM A36	846,40
5	Ángulo 1 ½ x 1 ½ x 1/8 pulg. x 6 m. Material: ASTM A36	1 064,24
6	Ángulo 2 x 2 x 1/8 pulg. x 6 m. Material: ASTM A36	530,28
7	Barra circular de 1/4 pulg. x 6 m. Material: ASTM A36	797,72
8	Tuerca hexagonal de 1/4 pulg.	2,38
9	Tornillo hexagonal M8 x 25 mm	73,36
10	Tuerca hexagonal M8	28,15
11	Arandela plana 8 mm	24,74
Valor total de venta		6 176,65
I.G.V. (18%)		1 111,80
Costo total de materiales		7 288,45

Tabla 8.6 Costo total de materiales

Fuente: Propia

El costo del sistema eléctrico se puede considerar como el 5% del costo total de los equipos y materiales del proyecto (Del Rosario 2013f:4).

8.3 Costo de instalación

El costo de la instalación del sistema se tomará en base del número de horas de trabajo y el costo horario de mano de obra.

Ítem	Característica	Cant.	Costo unitario (US\$)	Costo total (US\$)
1	Mano de obra de personal de fabricación	480	10 /h	2 800,00
2	Mano de obra de personal de montaje	200	12 /h	1 400,00
3	Mano de obra de personal técnico electricista	48	15 /h	720,00
4	Transporte	3	700	1 500,00
Costo total de instalación				6 420,00

Tabla 8.7 Costos de instalación

Fuente: Propia

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

Ítem	Costo	Costo (US\$)
1	Costo de ingeniería	4 300,00
2	Costo de equipos y dispositivos	13 734,35
3	Costo de materiales	7 288,45
4	Costo del sistema eléctrico	3 250,00
5	Costo de instalación	6 420,00
Costo total del proyecto		34 992,80

Tabla 8.8 Costo total del proyecto

Fuente: Propia

CAPITULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES.

1. Se diseñaron tres sistemas independientes para cada piso del estacionamiento. De esta manera, no es necesario que se extraiga el aire de todo el estacionamiento en caso se supere la concentración permisible en algún lugar del estacionamiento. El sistema de ventilación diseñado garantiza la extracción del aire contaminado del estacionamiento en cada piso cuando la concentración de nivel de monóxido de carbono supere las 25 partes por millón, asegurando la calidad del aire dentro del recinto. El caudal de ventilación es de 979.69 l/s para el primer sótano, 1175.62 l/s para el segundo y 1175.62 l/s para el tercer sótano.
2. El sistema de ductos del estacionamiento se diseñó para conducir el aire contaminado desde los puntos de extracción, al nivel del suelo y distribuidos en cada piso, hacia las bocas de descarga a 2.5 metros sobre el nivel del piso terminado.
3. Los ventiladores seleccionados cumplen los requerimientos de caudal y presión para extraer el aire desde cada sótano al exterior del estacionamiento. La presión estática entregada por los ventiladores es de 809.16 Pa para el primer sótano, 822.89 Pa para el segundo, y 857.46 Pa para el tercero. La serie CF de LOREN COOK son ventiladores certificados por UL (Underwriters Laboratories) para el control de humos.
4. Los motores y los sistemas de transmisión seleccionados entregan la potencia requerida para el funcionamiento de los ventiladores, con una variación en la velocidad de rotación de 1% aproximadamente. La potencia requerida por el ventilador del primer sótano es de 1.16 kW, el segundo es de 1.41 kW y 1.47 kW para el tercero.
5. El arranque de los motores se realizará mediante el método estrella-triángulo reduciendo la corriente a un tercio del valor en arranque directo, venciendo el torque resistente sin causar un sobrecalentamiento del motor. Los tiempos de aceleración de los motores son 2.69 segundos para el primer sótano, 3.29 para el segundo y 3.68 para el tercero.

6. El sistema eléctrico para el control de los motores asegura que el arranque se ejecute ante la señal del sensor de monóxido de carbono para cada nivel del estacionamiento, mediante el método estrella triángulo. Los conductores de 2,08 mm² para el primero, segundo y tercer sótano y de 3.31 mm² para el alimentador del tablero de ventilación poseen la capacidad de carga suficiente para un correcto funcionamiento, según lo estipulado en el Código Nacional de Electricidad.

RECOMENDACIONES.

1. En el diseño de ductos se debe tener cuidado con el ruido. Por lo general los cambios bruscos de sección (o de presión) en el fluido generan burbujas, turbulencias y ruido. Para enfrentar este problema se debe emplear dispositivos especiales para atenuarlos. Los silenciadores tipo espiral son las soluciones más eficaces, por eso hay que considerarlos en la fase de diseño de los equipos, porque, una vez construido el sistema, las soluciones ante la presencia de estos fenómenos del ruido, son costosas y muchas veces impracticables.
2. En la construcción de los ductos se debe tener especial cuidado, es decir deben ser bien sellados para evitar fugas.
3. Los ductos que pase por lugares no acondicionado, deben aislarse bien.
4. Para evitar un control excesivo por parte de los reguladores, la capacidad del ventilador debe acoplarse bien, ya que por lo general se tiene a desperdiciar energía.
5. Cuando la carga varía en forma significativa en el tiempo, debe instalarse impulsores de velocidad variable en el ventilador y conectarlos al sistema de control para que bajen la velocidad del ventilador lo que producirá la disminución de la potencia requerida en el cubo de la relación de reducción de la velocidad. Esto se debe aplicar en los momentos de escasa demanda.
6. Los costos de operación resultan por lo general elevados, debido a las mayores caídas de presión y a más altas presiones totales del ventilador, por eso se debe hacer un buen diseño de los equipos del sistema de ventilación.

CAPÍTULO X: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

BIBLIOGRAFIAS Y LINKOGRAFIAS.

ALDEN, John y John KANE

1982 Design of Industrial Ventilation Systems. 5° Edición.

Nueva York: Industrial Press Inc.

ALVAREZ, Miguel

2012 Comparación entre elementos de transmisión. Material de enseñanza. Lima:
Pontifica Universidad Católica del Perú.

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

2001 Industrial Ventilation: A manual for recommended practice. 24° Edición.
Cincinnati: ACGIH Publishing

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING
ENGINEERS

2011 ASHRAE Handbook: HVAC Applications. Atalanta: ASHRAE

2009 ASHRAE Handbook: Fundamentals. Atalanta: ASHRAE

2008 ASHRAE Handbook: HVAC Systems and Equipment.

Atalanta: ASHRAE

ARMIN, Ernst y Joseph ZIBRAK

1998 "Carbon Monoxide Poisoning". The New England Journal
of Medicine. New England, 1998, 399, 1603-1608.

Consulta: 17 de abril de 2013.

<<http://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJM199811263392206>>

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN

1992 UNE 100-196-92. Ventilación de aparcamientos.

Julio 1992

CENGEL, Yunus

2006 Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications.

1ra Edición. Boston: Mc-Graw Hill.

DEL ROSARIO, Raúl

2013a Las canalizaciones y la protección mecánica del conductor. [Diapositivas]. Lima:
Pontificia Universidad Católica del Perú.

2013b Los conductores eléctricos. [Diapositivas]. Lima:

Pontificia Universidad Católica del Perú.

2013c Selección y dimensionamiento de conductores eléctricos.

[Diapositivas]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

2013d Los dispositivos de maniobra y protección.

[Diapositivas]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

2013e Métodos de arranque y control de motores eléctricos. [Diapositivas]. Lima:
Pontificia Universidad Católica del Perú.

2013f Elementos del diseño de sistemas eléctricos.

[Diapositivas]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

ECHEVERRI, Carlos

2011 Ventilación Industrial. 1º Edición.

Medellín: Ediciones de la U.

KRARTI, Moncef y AYARI, Arselene

2001 “Ventilation for Enclosed Parking Garages”. ASHRAE
Journal. 2001, 43, 2, 52-55.
Consulta: 25 de abril de 2013.
<[http://www.mobilecalibrationservices.com/Ventilation_for
_enclosed_parking_garages.pdf](http://www.mobilecalibrationservices.com/Ventilation_for_enclosed_parking_garages.pdf)>

1999 “Overview of Existing Regulations for Ventilation System
Requirements for Enclosed Vehicular Parking Garages”.
ASHRAE Transactions. 1999, 105, 2, 18-26.

LOREN COOK

2009 Steel Centrifugal Blowers. Massachusetts: Loren Cook
Company.

2004 Vibration Isolation. Massachusetts: Loren Cook Company.

MARTI SALA, Francisco

2012 Sistema de arranque de motores. Material de enseñanza.
Alicante: I.E.S. Antonio José Cavanilles.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS

2006 Código Nacional de Electricidad. Utilización. Lima:
MINEM.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO

2006 “Reglamento Nacional de Edificaciones”. Diario El

Peruano. Normas Legales. Lima, 8 de junio de 2006.

OBERT, Edward

1973 Internal Combustion Engines and Air Pollution. 3ra
Edición. Nueva York: Intext Educational.

OPTIBELT

2005 Manual técnico para transmisiones por correas
trapeziales. Barcelona: Optibelt España S.A.

OSBORNE, W. y C. TURNER

1970 Guía práctica de la ventilación. Traducción de Eduardo
Sans. 2º Edición. Barcelona: Editorial Blume.

SALVADOR ESCODA S.A.

1998 Manual práctico de ventilación. 2º Edición.
Barcelona: Salvador Escoda S.A.

SHEET METAL AND AIR CONDITIONING CONTRACTORS' NATIONAL
ASSOCIATION

1998 HVAC Duct Constructions Standards Metal and Flexible.
2º Edición. Virginia: SMACNA.

SOLER & PALAU SISTEMAS DE VENTILACIÓN

1995 La Ventilación. Material de enseñanza. Barcelona: S&P.

VARGAS-MACHUCA, Federico

1990 Máquinas eléctricas rotativas. 1º Edición. Lima: Megaprint

Ediciones S.A.

WEG

2012 Guía de especificación de motores eléctricos. Santa
Catarina: Grupo WEG – Unidad Motores. Consulta: 20 de
mayo de 2014.

<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacion-50039910-manual-espanol.pdf>

Tesis Torres, Mario André (2014). Diseño de un sistema de ventilación para
estacionamiento subterráneo de tres niveles.pucp, Lima, Perú. Recuperado de
[http://tesis.pucp.edu.pe:8080/repositorio/bitstream/handle/123456789/5998/torre_mario_dise%
3%91o_sistema_ventilacion_estacionamiento.pdf?sequence=1&isallowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe:8080/repositorio/bitstream/handle/123456789/5998/torre_mario_dise%33%91o_sistema_ventilacion_estacionamiento.pdf?sequence=1&isallowed=y)

CAPÍTULO XI: ANEXOS, PLANOS Y OTROS.