



# **Diseño de un sistema de ventilación Jet Fan para extracción de monóxido de carbono en estacionamientos subterráneos**

**Autores:**

**Jesús David Durán Carrasquilla**

**Código: 21131628103**

**Edgar Javier Payares Urieta**

**Código: 21131629719**

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Ciudad, Colombia

2021



# **Diseño de un sistema de ventilación Jet Fan para extracción de monóxido de carbono en estacionamientos subterráneos**

**Autores:**

**Jesús David Durán Carrasquilla**

**Código: 21131628103**

**Edgar Javier Payares Urieta**

**Código: 21131629719**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Electromecánico**

Director (a):

Ingeniero Wilman Orozco

Codirector (a):

Título (Ph.D., Doctor, Químico, etc.) y nombre del codirector(a)

Línea de Investigación:

sistemas complejos del área de ciencias naturales, exactas y aplicadas.

Grupo de Investigación:

Nombrar el grupo en caso que sea posible

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Ciudad, Colombia

2021



*(Dedicatoria o lema)*

*A nuestras familias y a nuestros profesores por  
su apoyo y acompañamiento.*



## **Agradecimientos**

Agradecemos a Dios, a nuestras familias, amigos, profesores y personas que hicieron posible el desarrollo de este proyecto.



## Resumen

El objetivo principal de este proyecto fue diseñar un sistema de ventilación Jet Fan para la extracción de monóxido de carbono en estacionamientos subterráneos, a partir de la preocupación por la poca o nula ventilación natural que tienen estos espacios, aún más cuando sobre ellos reposa otros niveles de estacionamientos capaces de producir una mayor concentración de monóxido de carbono. Para llevar a cabo este proyecto se visitó un estacionamiento subterráneo en la ciudad de Bogotá el cual tiene una proyección para elevar sobre sus bases cuatro niveles más de construcción. Por lo que en este estacionamiento con poca ventilación natural se realizó una planimetría de cinco niveles de estacionamientos, tomando como base el estacionamiento subterráneo ya existente, la determinación del aire requerido para disminuir así el monóxido de carbono, se calculó tomando las características geográficas de la ubicación y mediante las formulas internacionales requeridas para estos cálculos se pudo obtener inclusive el número de equipos requeridos para instalar el Jet Fan. Mientras el establecimiento de los puntos de localización de los ventiladores se calculó mediante la exportación de los planos a una versión gratuita de SolidWorks y al introducir los datos de dimensionamiento y número de equipos permitió simular los puntos de ubicación para los ventiladores. También se llevó a cabo un proceso de selección de los equipos requeridos para la instalación en caso de llevarse a cabo en el área determinada.

**Palabras clave:** sistema, ventilación, Jet Fan, Monoxido de carbono, estacionamientos

## Abstract

The main objective of this project was to design a Jet Fan ventilation system for the extraction of carbon monoxide in underground parking lots, from the concern for the little or no natural ventilation that these spaces have, even more so when other levels rest on them. of parking lots capable of producing a higher concentration of carbon monoxide. To carry out this project, an underground parking lot in the city of Bogotá was visited, which has a projection to raise four more levels of construction on its bases. Therefore, in this parking lot with little natural ventilation, a planimetry of five parking levels was carried out, taking as a basis the already existing underground parking lot, the determination of the air required to reduce carbon monoxide, was calculated taking the geographical characteristics of the location and by means of the international formulas required for these calculations it was possible to obtain even the number of equipment required to install the Jet Fan. While the establishment of the fan location points was calculated by exporting the plans to a free version of SolidWorks and entering the sizing data and number of equipment allowed to simulate the location points for the fans. A selection process was also carried out for the equipment required for the installation if it is to be carried out in the determined area.

**Keywords:** system, ventilation, Jet Fan, Carbon monoxide, parking lots

# Contenido

	Pág.
<b>1. Capítulo I. Planteamiento del Problema.....</b>	<b>3</b>
1.1 Justificación del Proyecto .....	5
1.2 Objetivos .....	6
1.2.1 Objetivo General.....	6
1.2.2 Objetivos Específicos.....	6
1.3 Delimitación del Proyecto .....	6
1.4 Alcance del Proyecto.....	7
<b>2. Capítulo II. Marco Teórico.....</b>	<b>9</b>
2.1 Antecedentes .....	9
2.2 Bases Teóricas .....	13
2.2.1 Sistema de Ventilación Jet Fans.....	18
2.2.1.1. Componentes Jet Fans.....	20
2.2.1.2. Ventiladores de Impulso .....	22
2.2.1.3. Extractores Axiales .....	23
2.2.1.3. Fases del diseño de un sistema Jet Fan.....	24
2.2.2 Extracción de Monóxido de Carbono .....	29
<b>3. Capítulo III. Metodología.....</b>	<b>38</b>
3.1 Tipo de Estudio .....	38
3.2 Diseño de Estudio .....	39
3.3 Tipo de Estudio .....	39
<b>4. Capítulo IV. Resultados .....</b>	<b>45</b>
4.1 Determinar la cantidad de aire requerido para la disminución de la concentración de monóxido de carbono garantizando que se mantenga por debajo del nivel permisible. ....	45
4.2 Establecer los puntos de localización de los ventiladores Jet Fan mediante la herramienta de simulación CFD (Computer Fluid Dynamics).....	55
4.3 Seleccionar los equipos y accesorios que faciliten el buen desempeño y funcionamiento del sistema Jet Fan.....	57
<b>5. Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>60</b>
5.1 Conclusiones.....	60
5.2 Recomendaciones.....	60

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Fig. 2-1.</b> Representación de ventilación por sobre presión .....	14
<b>Fig. 2-2.</b> Representación de ventilación por depresión .....	15
<b>Fig. 2-3.</b> Representación de ventilación localizada .....	15
<b>Fig. 2-4.</b> Diagramación del Teorema Bernoulli .....	17
<b>Fig. 2-5.</b> Diagramación del Teorema Bernoulli .....	19
<b>Fig. 2-6.</b> Ventilación en estacionamientos mediante impulso Jet Fan .....	20
<b>Fig. 2-7.</b> Composición del sistema Jet Fan .....	22
<b>Fig. 2-8.</b> ventilador axial con aletas guía.....	23
<b>Fig. 2-9.</b> ventilador turboaxial.....	24
<b>Fig. 2-10.</b> Ventilador helicoida .....	24
<b>Fig. 2-11.</b> Sistema de renovación de aire.....	25
<b>Fig. 2-12.</b> Corte de Conducto de Extracción .....	26
<b>Fig. 2-13.</b> Mapa de concentración.....	30
<b>Fig. 2-14.</b> La Contaminación del aire en América Latina.....	34
<b>Fig. 2-15.</b> Infografía del comportamiento de la huella de carbono.....	36
<b>Fig. 3-1.</b> Ventilador Jet Fan.....	40
<b>Fig. 3-2.</b> Ejemplos de sistema Jet Fan.....	41
<b>Fig. 4-1.</b> Equipos requeridos.....	54

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 2-1.</b> Características de la función de la ventilación.....	16
<b>Tabla 2-2.</b> Tiempo de exposición de personas con el monóxido de carbono con respecto a la escala de concentración permisible de este gas.....	31
<b>Tabla 2-3.</b> Características físicas del CO2 .....	32
<b>Tabla 2-4.</b> Nivel de gravedad de la concentración de CO en sangre.....	33
<b>Tabla 3-1.</b> Características técnicas Jet Fan .....	41
<b>Tabla 3-2.</b> Características técnicas de los equipos idóneos de instalación.....	42
<b>Tabla 3-3.</b> Dimensionamiento de los sótanos para estacionamiento subterráneo .....	42
<b>Tabla 3-4.</b> Emisiones vehiculares .....	44
<b>Tabla 4-1.</b> Geometría, normas y condiciones ambientales .....	48
<b>Tabla 4-3.</b> Caudal requerido de inyección y extracción .....	52
<b>Tabla 4-4.</b> Velocidad inductiva .....	52
<b>Tabla 4-5.</b> Superficie de ventilación normal.....	53
<b>Tabla 4-6.</b> cantidad de equipos requeridos .....	54



# Introducción

El diseño e instalación de sistemas de ventilación modernos es un aspecto esencial a tomar en cuenta en los proyectos de edificaciones, sobre todo en aquellas que contienen espacios cerrados como lo son los estacionamientos subterráneos. Este tipo de espacios requieren el control diario del nivel de contaminantes en el aire, así como también la extracción de humo en caso de incendios. Los sistemas de ventilación permiten que el aire en este tipo de recintos se mantenga limpio, sin la presencia de gases contaminantes perjudiciales para los seres vivos.

De allí que se planteó un proyecto que incluye el diseño de un sistema de ventilación jet fan utilizando como base un estacionamiento subterráneo ubicado en la ciudad de Bogotá al que se le pretende construir cuatro niveles verticales aumentando con ello, la concentración de monóxido de carbono. El proyecto incluye el capítulo uno dedicado al planteamiento del problema, el capítulo dos dedicado al marco teórico, el capítulo tres a la metodología y el cuatro a los resultados. Cerrando con las conclusiones y recomendaciones.



# 1. Capítulo I. Planteamiento del Problema

La poca circulación de aire dentro de lugares cerrados, no permite la evacuación de los gases hacia el exterior, puesto que, si no existe un sistema de ventilación adecuado para la extracción de gases contaminantes, la correcta renovación de aire será nula. Por ende, en el interior de los distintos establecimientos con características de espacio cerrado, no es posible que exista un flujo adecuado de aire fresco hacia su interior favoreciendo la presencia un alto grado de contaminación debido al monóxido de carbono que es emanado por los vehículos automotores.

Al respecto, en el Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2016 (IDEAM, 2017) se menciona que, según la Organización Mundial de la Salud, la contaminación ambiental es la causante de una de cada ocho muertes a nivel mundial. De igual modo se indica que en Colombia, desde el año 2009 hasta el 2015, los costos ambientales asociados a la contaminación pasaron de \$5,7 billones de pesos a \$15,4 billones de pesos (IDEAM, 2014)

Si bien el monóxido de carbono no es el único contaminante presente en el aire, existe evidencia de que en sitios cerrados puede exceder los límites permisibles. Cabe señalar que, en las estaciones de muestreo consideradas en el estudio reseñado en el informe del IDEAM, las mediciones de niveles de CO no superaron los límites establecidos por la legislación colombiana. Sin embargo, como lo demuestra el trabajo de Epalza y Gutiérrez (2019) (IDEAM, 2014) es evidente que en los sitios cerrados como estacionamientos subterráneos y sótanos se puedan encontrar concentraciones que excedan dichos límites.

Por lo tanto, sin la implementación de equipos tecnológicos para contrarrestar los fenómenos de la contaminación ambiental, es imposible purificar el aire en lugares cerrados. No obstante, y a pesar de que, el diseño de un sistema de ventilación mecánica podría ser fundamental, para disminuir el problema de la contaminación del aire, no son considerados ampliamente cuando se planifica una obra civil con espacios cerrados,

aunque estos representen nuevas formas y procesos que logran mantener las condiciones internas de salubridad y seguridad de los estacionamientos subterráneos y sótanos.

En tal sentido, (SALAZAR MERA, Esvin, 2017) la importancia que tiene el diseño de un sistema de ventilación mecánica dentro los estacionamientos subterráneos, sobre todo en los que no tienen conexión con el exterior, es fundamental para sus usuarios. Por consiguiente, las edificaciones con estacionamientos subterráneos en cuyos diseños de construcción no se establecieron espacios necesarios para el ingreso de flujo de aire limpio, se pueden llegar a presentar altos niveles de monóxido carbono.

En consecuencia, la ausencia de espacios físicos (salidas naturales) que permitan el libre flujo de aire limpio pueden afectar la salud, si se considera todo lo expuesto en los antecedentes de investigación de este proyecto. Todo ello porque para diluir la concentración de gases nocivos hasta situarlos por debajo de los límites de seguridad en el interior de los estacionamientos subterráneos y sus sótanos, se requiere de una adecuada ventilación de aire fresco, así como de sistemas de ventilación mecánica, sin estos, los factores contaminantes pueden afectar de manera negativa la salud las personas que transitan diariamente por este tipo de estacionamientos, debido a que pueden sentirse asfixiados o presentar síntomas de intoxicación por una alta concentración de monóxido de carbono por encima de los límites de seguridad en el aire circundante.

En este orden de ideas, la peligrosidad que ocasiona el monóxido de carbono se debe a su afinidad con la hemoglobina (que es aproximadamente 300 veces la del oxígeno), con la que forma la carboxihemoglobina, impidiendo a la sangre el transporte y entrega de oxígeno a los tejidos.

En tal sentido, Tellez y Rodriguez (2006) (Tellez, et al., 2006) definen el monóxido de carbono como un gas que por sus características fisicoquímicas es llamado “el asesino silencioso”, ya que cuando penetra al organismo se une a las enzimas del grupo Hem de la hemoglobina, desplazando el oxígeno de la misma y formando carboxihemoglobina. Los principales efectos crónicos por exposición a este gas son alteraciones cardiovasculares, por lo que se incrementa la probabilidad de desarrollar hipertensión arterial sistémica, episodios de trombosis y neuropsicológicas favoreciendo la aparición de un cuadro similar al párkinson. Para estos autores, la interacción del monóxido de carbono con los seres humanos trae como consecuencia la aparición de cierta variedad de afecciones que

deteriora la salud de los cuerpos huéspedes este letal asesino silencioso (Tellez, et al., 2006).

Se sabe que, la mayor parte de emisiones del monóxido de carbono proviene de los vehículos de motor. En una entrevista al especialista Juan Carlos Blum, gerente general de la consultora ambiental Efficácitas comento que “permanecer por 30 minutos o más dentro de los parqueos cerrados produce daños a la salud, debido a los contaminantes que acumula ese ambiente” (EL UNIVERSO, 2010, pág. 5).

Lo anterior trae como consecuencia que las zonas de estacionamiento subterráneo así como sus sótanos verticales sean susceptibles de presentar elevadas concentraciones de contaminantes ambientales, lo cual conlleva el riesgo de muerte por contaminación del aire, enfermedades pulmonares y demás dolencias a las que se encuentran expuestas las personas que trabajan y transitan en estos lugares, por ello la vital importancia de crear un diseño de un sistema de ventilación Jet Fan para la extracción del monóxido de carbono.

## 1.1 Justificación del Proyecto

El diseño de un sistema de ventilación mecánica Jet Fan resulta necesario para erradicar la concentración de monóxido de carbono y purificar los espacios, volviéndolos menos contaminantes, además de evitar situaciones de envenenamiento que pudieran ocurrir debido a la presencia de altas concentraciones de este contaminante en estacionamientos cerrados o subterráneos, por lo que el desarrollo de este proyecto resulta beneficioso para quienes poseen espacios con estas características, sus usuarios y la población en general, ya que sintiéndose seguros en los estacionamientos subterráneos el aparcamiento en vías públicas podría disminuir o mejorar porcentualmente.

Por ende, el diseño de un sistema de ventilación Jet fan para reducir los niveles de monóxido de carbono en los estacionamientos subterráneos que incluya sus sótanos verticales resulta conveniente a razón de las implicaciones científicas que coadyuvarían a mejorar la calidad de vida tanto del ambiente, como de los ciudadanos usuarios de los estacionamientos y de los trabajadores que vigilan el área. Además, en el campo de la

ingeniería se trata de abordar de manera práctica y teorías, elementos que surgen como implementos de innovación tecnológica que están al servicio del bienestar común.

En otro orden de ideas, se trata de un estudio completamente factible, dado que se cuenta con los conocimientos necesarios, y con los recursos físicos, tecnológicos y económicos para garantizar la culminación empírica del proyecto. También, ofrece idoneidad técnica funcional y normativa de este sistema para su diseño e implementación en los estacionamientos subterráneos de cualquier ciudad colombiana.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de ventilación Jet Fan para extracción de monóxido de carbono en estacionamientos subterráneos.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Determinar la cantidad de aire requerido para la disminución de la concentración de monóxido de carbono garantizando que se mantenga por debajo del nivel permisible.
- Establecer los puntos de localización de los ventiladores Jet Fan mediante la herramienta de simulación CFD (Computer Fluid Dynamics).
- Seleccionar los equipos y accesorios que faciliten el buen desempeño y funcionamiento del sistema Jet Fan.

## **1.3 Delimitación del Proyecto**

La aplicación de diseño, se encontrará orientado a la implementación de un sistema de ventilación con tecnología Jet Fan para estacionamientos subterráneos en cualquier punto geográfico del territorio colombiano; contemplado en la infraestructura del inmueble.

---

## 1.4 Alcance del Proyecto

El objeto de estudio corresponde al estacionamiento subterráneo de una edificación urbana no específica que incluye cuatro sótanos verticales. La aplicación se orientará hacia el diseño de un sistema de ventilación con tecnología Jet Fan para dicho estacionamiento y pertenece a la línea de investigación de sistemas complejos del área de ciencias naturales, exactas y aplicadas de la Universidad Antonio Nariño.



## **2. Capítulo II. Marco Teórico**

### **2.1 Antecedentes**

Al respecto, Epalza, P.; Gutiérrez, L. (2019) elaboraron en la Universidad Santo Tomás, Villavicencio, Colombia, una tesis de Ingeniería Ambiental titulada Análisis del riesgo por exposición a monóxido de carbono en parqueaderos cerrados de centros comerciales de Villavicencio. El objetivo de su investigación fue analizar el riesgo por exposición de carbono mediante coeficientes y mapas de isoconcentraciones en el ambiente mencionado. Su trabajo se enmarcó en una metodología cuantitativa y en un método de recolección de datos fue continuo y automático durante un período de dos meses con un equipo autocalibrable. A partir de esa información, generaron una base de datos y mediante tratamiento estadístico obtuvieron valores de coeficientes de riesgo (CR). También elaboraron mapas de isoconcentración de monóxido de carbono mediante el software ArcGis 10.2.2.

Los resultados obtenidos en cuanto al riesgo al que se encuentran expuestos los trabajadores de los parqueaderos cerrados en dos centros comerciales de Villavicencio, muestran que el CR para el sótano 1 del primer centro comercial era aceptable de acuerdo con los límites de exposición permisibles (PELs) establecidos por la Occupational Safety and Health Administration (OSHA) (30%) y críticos bajo los estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS) debido a que supera su umbral en 7.87 ppm; en cuanto al sótano 2 de este centro comercial y el único sótano del segundo centro comercial, se evidenció que el CR es aceptable pues se encuentra dentro de los parámetros permitidos por las dos organizaciones (Epalza; Gutiérrez, 2019).

Por otra parte, Bai, Z.; Li, Y. (2019) sustentaron en la Universidad de Tecnología de Beijing, China, un estudio del colegio de arquitectura e ingeniería civil que lleva por título Numerical

Study the Performance of Jet Fans in Utility Tunnel Ventilation, tuvo como objetivo general mejorar el rendimiento de la ventilación en el servicio de túneles públicos mediante el sistema Jet fan. Se estudiaron diversos túneles del servicio público urbano. Desde el punto de vista metodológico, se enmarca en el enfoque cuantitativo, nivel descriptivo- explicativo, diseño experimental.

Se aplicaron modelos de turbulencia fluida 14.0 y K-E para indagar sobre el rendimiento de la ventilación con el sistema Jet Fan con un ángulo de desviación. Los resultados mostraron que la velocidad del aire es mayor en la fuente de fuego corriente arriba que en la fuente de fuego corriente abajo, y que el ángulo de desviación del sistema Jet Fan tiene un efecto positivo sobre la distribución de la velocidad y la temperatura en los túneles de servicio urbano. El ángulo de desviación óptimo fue  $Y=12^\circ$  cerca de la fuente de fuego (Bai, et.al., 2019).

Otro estudio realizado por Marcial, Y. (2019) en el cual elaboró para la Universidad Tecnológica del Perú una tesis de ingeniería mecánica titulada Diseño de un sistema de ventilación mecánica para asegurar la concentración permisible de monóxido de carbono en el estacionamiento subterráneo del edificio de la Escuela Nacional de Control de la Contraloría General de la República.

El objetivo general consistió en diseñar un sistema de ventilación mecánica en el estacionamiento subterráneo del sótano 1, 2, 3 y 4 para el edificio de la Escuela Nacional de Control de la Contraloría General de la República, para controlar y asegurar la calidad de aire limpio. Para ello utilizó una metodología de tipo explicativa y descriptiva, diseño no experimental y transversal. Ahora bien, el método de investigación empleado por el autor fue el analítico pues se procede a analizar minuciosamente cada una de las variables a fin de proponer una solución factible a la problemática planteada (Marcial, 2019).

El principal instrumento fue: el registro de notas. Además de una matriz de abordaje del problema, en la cual se eligió el sistema de ventilación mixta. Los resultados arrojaron que el nivel de concentración diaria de monóxido de carbono era aproximadamente de 12 000 ppm, siendo estos altamente nocivos para la salud, luego de la implementación del proyecto los niveles pueden mantenerse en 25 ppm. También es importante señalar que los ductos diseñados tanto para la extracción como para la inyección de aire fresco se han dispuesto estratégicamente (el primero en los laterales y el segundo en el centro) para

reducir el consumo energético y permitir de manera óptima la descontaminación del ambiente.

En este sentido, Kmecovác, M.; Krajčík, M; Straková, Z. (2018) elaboraron en la Universidad de Tecnología de Bratislava, Eslovaquia, un estudio de Ingeniería Mecánica, titulado *Designing Jet Fan Ventilation for an Underground Car Park by CFD Simulation*. El objetivo general fue diseñar un sistema de ventilación contra incendios con el sistema de ventilación Jet fan para un aparcamiento subterráneo, en un estacionamiento subterráneo y la metodología empleada corresponde al enfoque cuantitativo, tipo descriptivo-explicativo, diseño experimental.

Se empleó la teoría de dinámica de fluido computacional (CFD) con el fin de evitar los errores de cálculos, visualizar el comportamiento del fluido y comparar las variantes del diseño. Asimismo, se emplearon como instrumentos de recolección de datos la ficha de observación y el registro de medición. Se realizaron dos procedimientos experimentales: el primero consistió en ubicar los ejes de escape en ambas partes del estacionamiento y direccionar el sistema de ventilación Jet Fan a los ejes correspondiente, en este proceso la tasa de intercambio de aire fue de 10 veces por hora.

Ahora bien, en el segundo, ambos ejes de escape estuvieron ubicados en un lado opuesto al suministro de aire principal y la tasa de intercambio de aire fue de 15 veces por horas. Los resultados arrojaron que la ubicación adecuada de los elementos del sistema de ventilación Jet Fan es indispensable para lograr la eficiencia de los ventiladores contra incendio y de esta manera optimizar la purificación del aire en el área determinada.

En este mismo orden de ideas, Acosta, R. (2017) quien sustentó ante la Universidad Técnica de Ambato en Ecuador, una tesis de maestría en Seguridad e Higiene Industrial y Ambiental, que lleva por título *Concentraciones de Monóxido de Carbono y su Incidencia en la Salud del Personal que Labora en el Parqueadero del Edificio Principal del Gad Municipal De Ambato* y que tuvo como objetivo general determinar las concentraciones de monóxido de carbono y su incidencia en la salud del personal que labora en el estacionamiento subterráneo del edificio principal del GAD Municipal de Ambato, para proponer alternativas de solución para minimizar los efectos negativos en la salud de las personas que permanecen en el área. Tuvo un enfoque cuantitativo, bajo la modalidad de campo, tipo documental descriptiva, nivel transversal.

Para el objeto de estudio se seleccionó como población a cuatro trabajadores pertenecientes a la consola de seguridad, cuatro guardias pertenecientes al área de guardianía y tres choferes; sin embargo, solamente a los encargados de la consola de seguridad se les realizaron los exámenes médicos por ser los empleados vinculados directamente al área del parqueadero, además de la realización de las mediciones de CO.

Los instrumentos empleados fueron: cuestionario, informe de medición y ficha de observación. En lo que respecta a los resultados, el autor demuestra que existe un alto índice en los niveles de monóxido de carbono en los estudios realizados a los trabajadores permanentes del área, y que este hecho es producto del mal funcionamiento de los ductos de extracción mecánica y se recomienda el rápido y eficaz abordaje de la situación mediante la creación de un sistema de ventilación apropiado.

Por su parte, Spiljar, Z.; Draculic, M.; Scheider, D. (2017) elaboraron para el Centro Internacional para el Desarrollo Sostenible de Sistemas de Energía, Agua y Medio Ambiente (SDEWES) en Croacia, un estudio de Ingeniería titulado Analysis of Jet Fan Ventilation System installed in an Underground Car Park with partition Walls. El objetivo general de la investigación fue describir un modelo numérico utilizado para el análisis de áreas de estancamiento de aire, patrones de flujo de aire, aerodinámica y la influencia de las paredes divisorias en el sistema de ventilación Jet Fan. La metodología empleada es el enfoque cuantitativo, tipo descriptiva, nivel no experimental.

Los autores resaltan la validez de la elección del sistema de ventilación Jet fan para los aparcamientos subterráneos. Los resultados mostraron que, aunque se encuentran disponibles varios sistemas de ventilación mecánica para la extracción de contaminantes del aire en los estacionamientos subterráneos, tales como: sistema de ventiladores de empuje, sistema de ventilación por conductos y sistemas con ventiladores de extracción, el sistema de ventilación Jet Fan, se evidencia en muchos casos superior a los conductos tradicionales. No obstante, no todas las edificaciones cumplen con los parámetros pertinentes para la implementación de dicho sistema.

Finalmente, Sierra, R. (2015) quien sustentó en la Universidad Tecnológica de Pereira una tesis de grado titulada Diseño y simulación de un extractor de humos de soldadura para espacios confinados, la cual tuvo como objetivo diseñar y simular a través de software un extractor de humos que pudiera utilizarse en aplicaciones de espacios confinados para procesos de soldadura y corte de metales. La metodología adoptada se orientó hacia la

determinación de condiciones de operación y requerimientos para con esta información elaborar un prediseño y una configuración inicial que luego fueron simulados para finalmente obtener el diseño final. Los resultados obtenidos resaltan las dificultades que entraña el proceso de simulación computacional y la consideración que debe hacerse de las limitaciones del software a emplear.

## 2.2 Bases Teóricas

Los sistemas de ventilación Jet Fan responden a la urgente necesidad de las sociedades contemporánea por mantener el equilibrio del aire, siendo este uno de los elementos naturales que inducen la posibilidad de la vida en la tierra. Ante ello, conviene exponer que existe en la actualidad la constante necesidad de formular estrategias que permitan el confort de los habitantes (permanentes u ocasionales) de las diferentes edificaciones, comerciales o habitacionales, una de las principales características que estas edificaciones deben tener son sus sistemas de ventilación, sin embargo, los sistemas de ventilación son muy variados y con múltiples aplicaciones en el área de la ingeniería, que van desde sistemas industriales de ventilación hasta sistemas de ventilación en grandes estructuras civiles, como túneles.

De allí que, se hace interesante tener en cuenta en primera instancia el concepto básico de lo que es un sistema de ventilación, el cual es para Astete et al (2003) (Astete Dante, 2003) capaces de mantener “el control de calor o remoción de contaminantes generados en espacios cerrados con la finalidad de crear condiciones de trabajo comfortable y sin perjuicio para la salud de las personas que se encuentran en el lugar” (p. 9).

De lo anterior se hace necesario entonces seguir la línea de pensamiento de Astete et. al. (2003) en el cual establece que la clasificación principal de los sistemas de ventilación se puede reducir a dos grandes grupos: Sistema de Dilución y Sistema de Extracción Local; en el primero el autor establece que se puede utilizar principalmente en situación de acumulación de gases en niveles bajos, mientras que el segundo sistema, se enfoca en evitar que los elementos contaminantes se dispersen en el ambiente por lo que se focaliza el punto de extracción en el área más cercana al punto de generación de los elementos contaminantes.

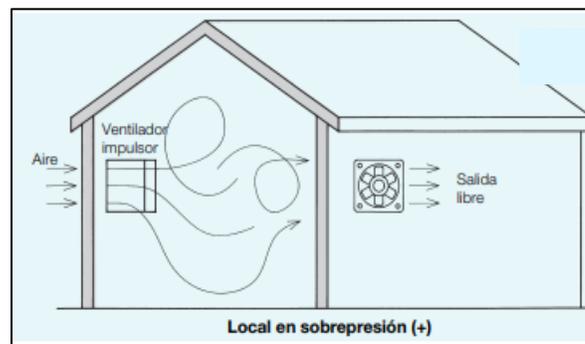
En este contexto urge entonces definir el principal componente de un sistema de

ventilación, el Ventilador, al respecto Marín (2013) explica que; “se puede describir como una turbo máquina (máquina de fluido), la cual es usada para producir una corriente de flujo de aire” (p.18). Este concepto permite entonces tener una visión clara del enfoque de estudio, es decir, los tipos de ventiladores, tomando en consideración la evidente amplitud en la gama de ventiladores, la presente investigación tomará para sus estudios los ventiladores de propulsión conocidos como Jet Fan y su elemental componente el extractor axial, otorgando a este equipo, la relevancia enuncia en las primeras líneas de esta sección.

De igual manera, la ventilación es la técnica que permite sustituir el aire del ambiente interior de un local, considerado inconveniente por su impureza, temperatura y humedad excesiva, por otro exterior de condiciones superiores (Escoda, 2015); ésta tiene como funciones primordiales el suministro de oxígeno vital para la respiración, control de temperatura, humedad, azuzando situaciones de confort para todos los beneficiarios, bien sean instituciones y directamente, las personas usuarias de los espacios. Entre los tipos de ventilación puede considerarse los puntualizados a continuación:

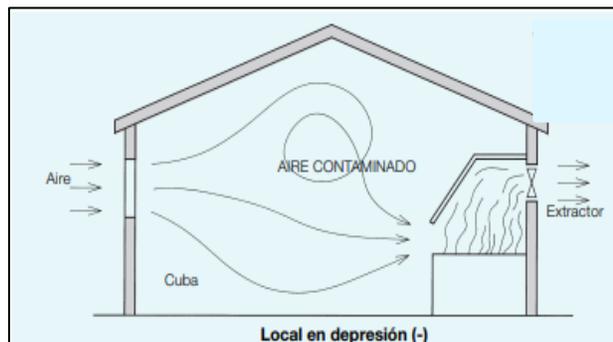
- **Ventilación por sobre presión:** se obtiene insuflando aire a un espacio, colocándole en sobrepresión interior respecto a la presión atmosférica (Escoda, 2015), el aire fluye hacia el exterior, utilizando las aperturas dispuestas para ello.

**Fig. 2-1.** Representación de ventilación por sobre presión



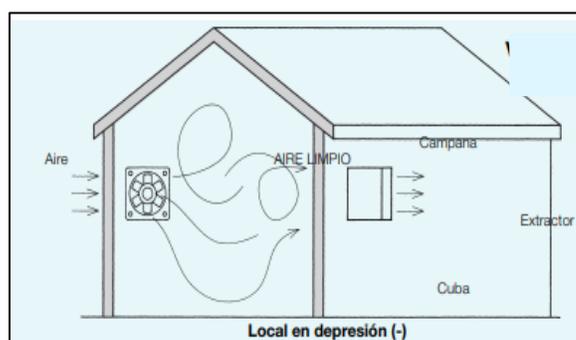
**Fuente:** (Escoda, 2015)

- **Ventilación por depresión:** se obtiene por la ubicación del ventilador, de manera que extraiga aire del espacio, logrando que este se coloque en depresión respecto a la presión atmosférica.

**Fig. 2-2.** Representación de ventilación por depresión

**Fuente:** (Escoda, 2015)

- **Ventilación ambiental o general:** en ésta, el aire circula por todo el espacio interior, previamente a alcanzar la salida; la principal ventaja de la ventilación ambiental corresponde a que si en las inmediaciones del establecimiento en cuestión, existe un foco de emisión contaminante, los gases resultantes se esparcirán a lo largo de la superficie ventilada, conllevando a repercusiones adversas para la salud de los usuarios implicados.
- **Ventilación localizada:** el aire contaminado es captado en el mismo lugar donde se produce, evitando su esparcimiento (Escoda, 2015), lo cual se logra con la inclusión de una campana que achica el foco contaminante, direccionando el flujo filtrado al exterior.

**Fig. 2-3.** Representación de ventilación localizada

**Fuente:** (Escoda, 2015)

- **Ventilador:** es una máquina rotativa que transmite energía para generar la presión necesaria con la finalidad de conservar un flujo continuo de aire (Escoda, 2015) está compuesto por un motor de accionamiento, normalmente eléctrico, con los

dispositivos de control asociados: arranque, regulación de velocidad, conmutación de polaridad y un propulsor giratorio en contacto con el aire, donde se transmite la energía.

Por otra parte, los ventiladores pueden clasificarse según sus características tal y como se muestran en la tabla 1:

**Tabla 2-1.** Características de la función de la ventilación.

Según su función:	Según la trayectoria del aire:	Según la presión:	Según el tipo de accionamiento
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Con envolvente</b></li> <li>- <b>Mural</b></li> <li>- <b>De Chorro</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Centrífugo</li> <li>- Axial</li> <li>- Transversal</li> <li>- Helio centrífugo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De baja presión</li> <li>- Mediana presión</li> <li>- Alta presión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Directo</li> <li>- Por transmisión</li> </ul>

Para su instalación es importante conocer el Teorema de Bernoulli que consiste en la expresión matemática que contiene la suma de la presión estática y dinámica debida a la altura, es constante para todos los puntos del fluido. La presión estática, actúa en todos los sentidos dentro del conducto, actuando en el mismo sentido de la corriente, mientras que la presión dinámica, actúa en el sentido de la velocidad del aire; en tal sentido, la presión total es constante en todos los puntos del fluido y se considera en la siguiente ordenación:

$$P_t = P_d + P_e$$

Ecuación 1 (Gatica, 2017)

En este sentido los requerimientos de aire se refiere a la renovación del aire en un espacio cerrado, se mide en ACH, *Air Changes per Hour*, o cambios de aire por hora (Estrada, 2017) en las consideraciones de la ASHRAE se señala para establecimientos cerrados, una tasa aceptable de 1,5 cfm/ft<sup>2</sup> o 6 ACH<sup>2</sup> (Estrada, 2017); entonces, mientras mayor sea la cantidad de renovaciones que se obtengan del aire, mayor será su calidad. La expresión matemática para el indicador es:

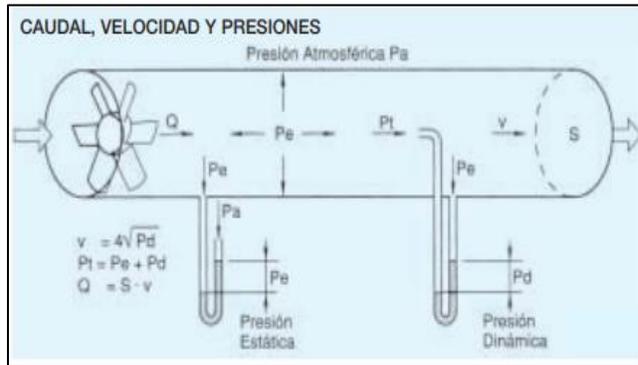
$$ACH = (3600 Q) / Vol$$

$$ACH = (3600 VA_{trans}) / Vol$$

Ecuación 2. (Gatica, 2017)

Donde Q es la tasa de flujo volumétrico, Vol es el volumen del ambiente cerrado, V es la velocidad de desplazamiento de fluido y Atrans, es el área transversal de trabajo.

**Fig. 2-4.** Diagramación del Teorema Bernoulli



**Fuente:** (Escoda, 2015)

Mientras la concentración se entiende como la concentración de una sustancia en otra, dado el caso del CO con el aire (Torres M. , 2014); las normativas internacionales como la británica, y la ASHRAE, establecen como máximo 30p.p.m de CO en un período de 8 Hrs para grandes espacios, y 90 p.p.m en 15 min para áreas reducidas (Marín, 2013).

En cuanto al flujo volumétrico y flujo másico es la cantidad de masa que atraviesa una sección de área por unidad de tiempo (Marín, 2013), en referencia al flujo másico, el cual depende de la densidad de fluido  $\rho$ , y de la velocidad  $V_n$ , con la cual el fluido atraviesa la sección transversal  $A_c$ , resultando en la siguiente expresión:

$$m = \rho V_n A_c$$

Ecuación 3. (Gatica, 2017)

El flujo volumétrico es la cantidad de fluido que circula por una sección transversal en un período, y se da por:

$$Q = V_n A_c$$

Ecuación 4 (Gatica, 2017).

La relación entre flujo másico, y flujo volumétrico se muestra como:

$$m = \rho Q = Q/V$$

Ecuación 5. (Gatica, 2017)

Para ello conviene conocer el número de Reynolds que consiste en una cantidad adimensional utilizado en la mecánica de fluidos, fenómenos de transporte, y diseño de reactores, con la finalidad de determinar el movimiento de fluido; es relacionado con: densidad, viscosidad, y velocidad, a fin de determinar si el flujo es laminar, o turbulento (Estrada, 2017), conduciendo su expresión a:

$$Re = \rho v D / \mu$$

Ecuación 6. (Gatica, 2017)

Donde  $\mu$  representa la viscosidad del fluido, que, de acuerdo a los valores obtenidos para Re, se puede asociar:

- $Re < 2100$  es flujo es laminar
- $2040 < Re < 4000$  el flujo se encuentra en estado transitorio
- $Re > 4000$  el flujo es turbulento, entendiéndose como el advenimiento de una falencia, con pequeños remolinos que son el resultado del movimiento caótico de las partículas.

Mientras el caudal de aire consiste en el aporte de aire al exterior que debe hacerse, con la finalidad de controlar los niveles de dióxido de carbono pertinentes en un ambiente, logrando que la concentración media anual, no exceda los 900 p.p.m (Suárez, 2019); así mismo, la cuantificación del caudal de aire aportado al exterior, debe ser suficiente como para eliminar las sustancias contaminantes y no relacionadas con la presencia humana. En tal sentido, la expresión matemática asociada al cálculo del caudal del aire, se establece por medio de la siguiente relación.

$$Q = (Axhx35xNr/60)$$

Ecuación 7 (Gatica, 2017)

Donde:

Q: Caudal del aire

A: Área del ambiente ( $m^2$ )

h: Altura del ambiente

Nr: Número de renovaciones por hora

### 2.2.1 Sistema de Ventilación Jet Fans

Según Marín (2013) (Marín, 2013) “los Jet Fans funcionan de una forma tal que impulsan el aire fresco desde las torres de inyección hacia las de extracción” (p.20). Mientras que

para Soler y Palau (2018) exponen ampliamente que; “los Jet Fans inducen el movimiento del aire hasta el último punto de extracción para asegurar una buena ventilación en todas las áreas [...] Estos ventiladores tiene la función de distribuir y controlar el aire alrededor de todo el recinto” (párr. 2), entonces se puede inferir que los Jet Fan son los elementos más eficientes para la obtención eficiente de disminución de niveles de contaminación propios de los espacios cerrados o profundo dentro de cualquier estructura civil, habitable o no.

De acuerdo con la normativa emitida por la British Estándar (BSi, 2013, citado por Soler y Palau, 2018) la principal función de un sistema de ventilación de Jet Fan tiene funciones principales permitir el acceso de aire limpio y libre de elementos contaminantes, acceder a un sistema de control de llamas al momento de presentar un incendio, y brindar propulsión al aire proveniente del exterior hasta cada uno de sus puntos de extracción los reduce el consumo de energía y en consecuencia extiende la vida útil del sistema. Conviene mostrar un modelo de ventilación Jet Fan en la figura 2-5:

**Fig. 2-5.** Diagramación del Teorema Bernoulli



**Fuente:** (Soler y Palau, 2010)

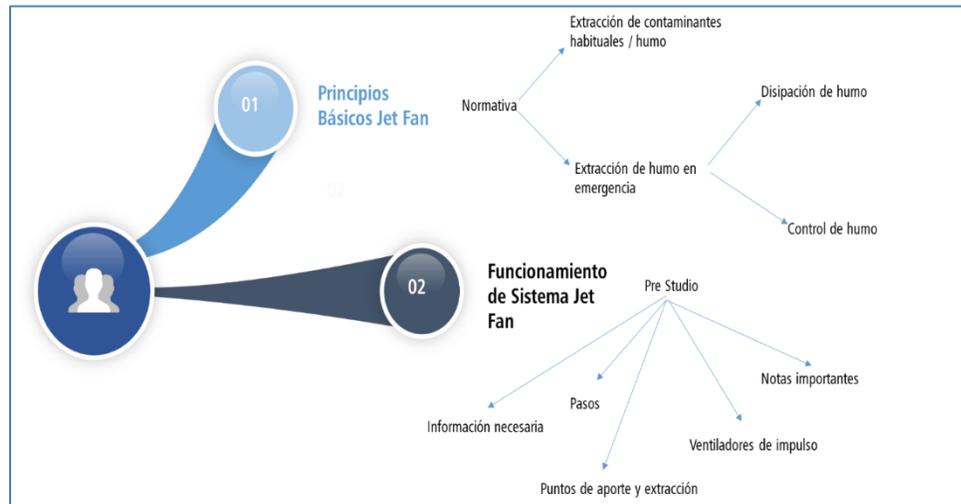
Los jets fan forman principalmente lo que se conoce como ventilador por impulso o inyección, y de acuerdo con las normativas internacionales (BSi, ASHRAE) (Soler y Palau, 2010) no se debe aplicar sólo las inyecciones de aire, sino que además debe combinarse con la extracción del aire contentivo de elementos contaminantes a fin de ser expulsados al exterior, esto también sustenta lo dicho por Marcial (2019) cuando explica que;

La ventilación mecánica o ventilación forzada, se dice que es cuando el fluido en este caso el aire de los recintos, es forzado a ingresar o salir del ambiente que lo alberga, gracias a la elaboración de depresiones o sobrepresiones por

medio de los equipos de ventilación motorizados, que serán accionados mediante el ingreso de energía eléctrica. (p.38)

En tal sentido el sistema de ventilación jet fan requiere de una implementación sencilla y eficiente ya que el análisis de instalación en estacionamientos se asegura mediante dos lineamientos específicos como son sus principios básicos derivados de la normativa y el conocimiento de su funcionamiento determinando mediante un pre estudio como se grafica en la figura 2-6;

**Fig. 2-6.** Ventilación en estacionamientos mediante impulso Jet Fan



**Fuente:** Elaboración propia (2021)

### 2.2.1.1. Componentes Jet Fans

De lo anteriormente descrito es necesario establecer los parámetros que van a definir cuáles son los componentes que van a constituir el sistema de ventilación mecánica o motorizada. En primera instancia Marcial (2019) define una clasificación de los sistemas de ventilación en función de los varios requerimientos entre los que encuentran la disposición del edificio, la causa de la contaminación (lo que origina la contaminación) y los equipos de ventilación a usar. Todas estas consideraciones son necesarias para poder definir en forma clara y precisa cuales son los componentes del sistema de ventilación.

Si un sistema de ventilación es mecánico, como es el caso de los Jet Fan es necesario

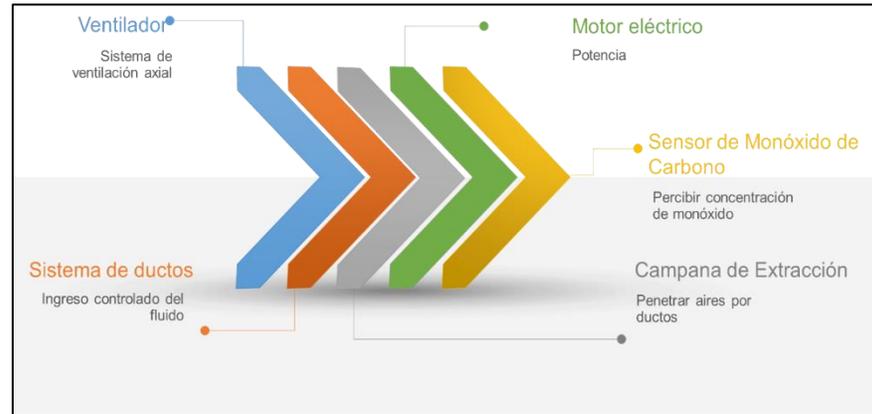
como ya se ha dicho anteriormente determinar el tipo de sistema a instalar, si es de inyección, de extracción o un sistema mixto (inyección – extracción). Para efectos de la presente investigación se tomará en consideración el sistema dual o mixto, es decir, inyección – extracción de aire por ser el más recomendado por los organismos regentes en la materia. De acuerdo con el trabajo de grado presentado por Torres (2014) a la hora de instalar un sistema de ventilación Jet Fan (mixto) debe tener ciertos elementos mecánicos que lo compondrían:

En ese sentido el ventilador, es uno de los elementos importantes del sistema para ello Torres (2014) establece que “Sin embargo, un ventilador debe ser seleccionado también considerando la aplicación que tendrá” (p. 54). En este particular Marcial (2019) presenta dos tipos de ventiladores a utilizar en un sistema de ventilación, el ventilador axial (de hélice, turboaxiales y venaxiales) y el ventilador centrífugo (con aletas curvadas hacia adelante o hacia atrás y de aletas radiales), cada uno con un alcance diferente y con aplicaciones prácticas distintas. Tal y como se listan a continuación:

1. El motor eléctrico: al respecto, Torres (2014) aclara que “Para seleccionar el motor eléctrico que accionará el ventilador será necesario primero determinar la potencia que requiere el mismo.
2. Sensor de monóxido de carbono: el cual en función de lo investigado por Torres (2014) “se activará bajo la señal que emita alguno de los sensores de monóxido de carbono, distribuidos en cada estacionamiento, al percibir una concentración de 25 ppm o mayor “(p.72).
3. Campanas de extracción: este componente Chimbo y Ortiz (2012) exponen “en general se denominan campanas a todos los tipos de aberturas por donde penetra el aire a los ductos “(p.23). Adicionalmente Astete et Al (2003) explican que “El tipo de campana que se utiliza depende tanto del mecanismo de generación de los contaminantes como de las características físicas del proceso “(p.13).
4. Sistema de ductos: a lo que Marcial (2019) expone que tienen “el propósito de conducir el fluido a determinados puntos en el espacio que aseguren que el ingreso y salida del fluido sea de manera regular y controlada “(p.64) y Astete et Al (2003) lo definen como “El objetivo de un sistema de ductos es el de transportar el aire y sus contaminantes desde donde se producen hasta los equipos de limpieza del aire y recolección de los contaminantes “(p.11). Estos

mismos autores son capaces de clasificar el sistema de extracción en función de su velocidad (alta o baja) y según la presión que deben generar (Alta, media y baja). Esta composición se esquematiza en la figura 2-7:

**Fig. 2-7.** Composición del sistema Jet Fan



**Fuente:** Elaboración propia (2021)

### 2.2.1.2. Ventiladores de Impulso

Los ventiladores de impulso son los que van permitir el acceso de aire limpio al sistema de ventilación todo esto en función de lo explicado por Marín (2013) quien expone que los ventiladores de impulso “funcionan de una forma tal que impulsan el aire fresco desde las torres de inyección hacia las de extracción” (p. 20). No sólo se encargan de enviar aire limpio a sistema, sino que también explica Marín (2013) que su función principal es empujar el aire hasta la siguiente estación, manteniendo la fuerza del aire dentro del sistema en niveles constantes.

Es importante destacar en este punto no sólo la función de los ventiladores de impulso, también es necesario destacar las posiciones y la cantidad de ventiladores que se requieran para mantener el flujo correcto de aire hasta cada punto de extracción; en este sentido se tiene una clasificación propuesta por Astete (2003) quien indica que existen dos regímenes de flujo de viento dentro del sistema uno de régimen laminar y el de régimen turbulento.

En tal sentido, el régimen laminar, es expuesto por Astete (2003) establece que es un

sistema que va por capas sobre capas que se superponen una sobre la otra desde la pared hasta la línea central del ducto o que resulta en un flujo parabólico. Entre tanto que Marcial (2019) explica que es “un movimiento del fluido con cada uno de sus partículas en un orden casi exacto donde sí se aprecia minuciosamente en ningún momento se cruzan una con otra “(p. 65).

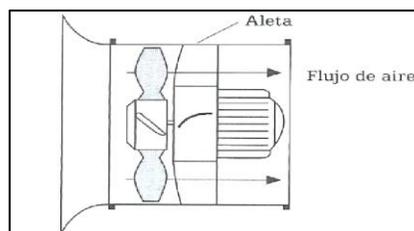
Por otra parte, el régimen turbulento en contraposición Astete (2003) explica sobre este régimen que un movimiento desordenado y sus partículas se chocan entre sí formando remolinos, es remolinos generan un flujo logarítmico. Adicionalmente Torres (2014) expresa que “se caracteriza por el movimiento desordenado de partículas dentro del conducto, donde el flujo es errático “(p.34).

### 2.2.1.3. Extractores Axiales

En cuanto a los extractores axiales, Rocha et al (2017) establece que el ventilador axial “cambia la dirección del aire de salida a perpendicular a la dirección de la entrada de aire al equipo “(p. 320) de manera que la principal función de un ventilador axial, es su capacidad la cual sólo puede usarse en determinados momentos por lo que Marcial (2017) que estos ventiladores son funcionales “solo utilizándolos para generar el movimiento del aire en longitudes de recorrido menores o mínimos” (p. 47).

Adicionalmente a esto Torres (2014) “poseen una eficiencia mecánica alta, siendo capaces de llegar hasta el 95%, sin embargo, no pueden vencer caídas de presión muy elevadas” (p.13) esto según el autor quien cita a Echeverri (2014) es la principal causa por la que los ventiladores axiales funcionan mayormente como extractores.

**Fig. 2-8.** ventilador axial con aletas guía

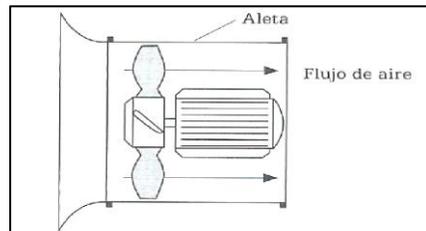


**Fuente:** (Torres M. A., 2014)

Por ende, Torres (2014) distingue principalmente 3 tipos de ventiladores axiales ventiladores veneaxiales o con aletas guía los cuales son bastante ruidosos, también

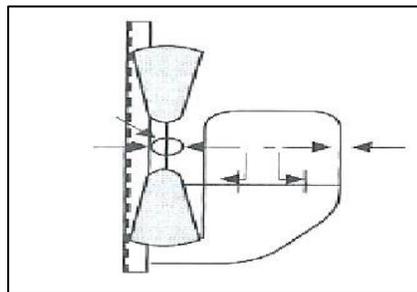
presenta el autor los ventiladores tuboaxiales que son más pequeños, económicos, pero también muy ruidosos. Por último, se tienen los ventiladores helicoidales que son principalmente extractores debido a la baja presión que generan, sin embargo, a pesar de la baja presión se utiliza principalmente en sistemas de gran caudal de viento.

**Fig. 2-9.** ventilador turboaxial



**Fuente:** (Torres M. A., 2014)

**Fig. 2-10.** Ventilador helicoida



**Fuente:** (Torres M. A., 2014)

### 2.2.1.3. Fases del diseño de un sistema Jet Fan

Torres (2014) expone sobre el diseño de un sistema Jet Fan lo siguiente:

La instalación de un sistema de ventilación general mecánica contiene una gran parte de intuición, sin embargo, se pueden enumerar los siguientes principios:

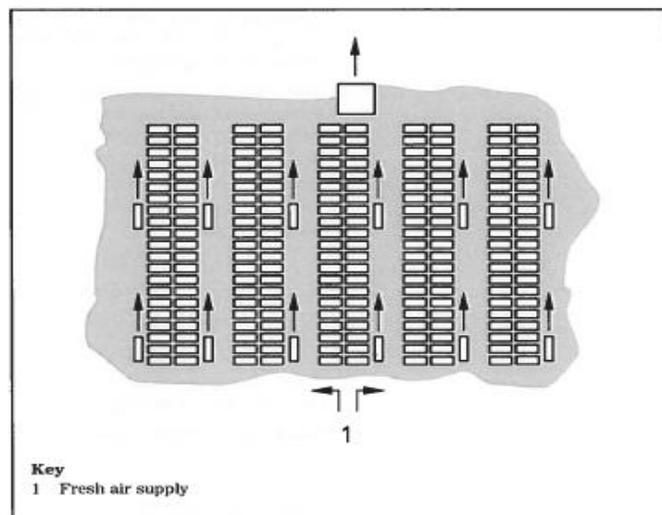
1. Aplicable a contaminantes de baja toxicidad, rápida difusión y pequeñas emisiones.
2. emisiones.
3. Localizar los puntos de extracción lo más cerca posible de las fuentes de contaminación.
4. contaminación.
5. Colocar los puntos de inyección y de extracción de tal manera que se fuerce una corriente general de aire a través de las zonas contaminadas.
6. Es preferente utilizar una extracción mecánica y una entrada natural.

7. Evitar las zonas “muertas” para la corriente de aire.
8. Evitar el reingreso del aire extraído asegurando que la toma de aire para
9. inyección se encuentre alejada de la descarga.

La instalación de los Jet Fan puede variar en función de la distribución del espacio, sin embargo, para la presente investigación será de utilidad el modelo de instalación presentado por Marín (2013) apoyado con la normativa internacional dictada por la BSI (2013) por su simplicidad en la explicación y las generalidades de la misma.

1. Sistema de extracción: para Marín (2013) el primer en el primer paso “Se deberá definir el área útil *Autil*, en cada subsuelo (descontado bodegas, locales y columnas). Será importante establecer la tasa de flujo volumétrico requerida, para cubrir la totalidad del parqueadero subterráneo.  $Q_{Ext} = Vol \times ACH$  (p.34) este proceso culminará en una serie de valores que le permitirán determinar el flujo volumétrico requerido debido a  $h$  representa la altura del espacio seleccionado y  $ACH$  es el número de veces que el aire deberá ser renovado por el sistema. De acuerdo con la norma BS-EN-7346-7 “el sistema de extracción deberá estar diseñado para proveer un mínimo de 10 renovación de aire por hora” (p. 17).

**Fig. 2-11.** Sistema de renovación de aire



**Fuente:** (Soler y Palau, 2010)

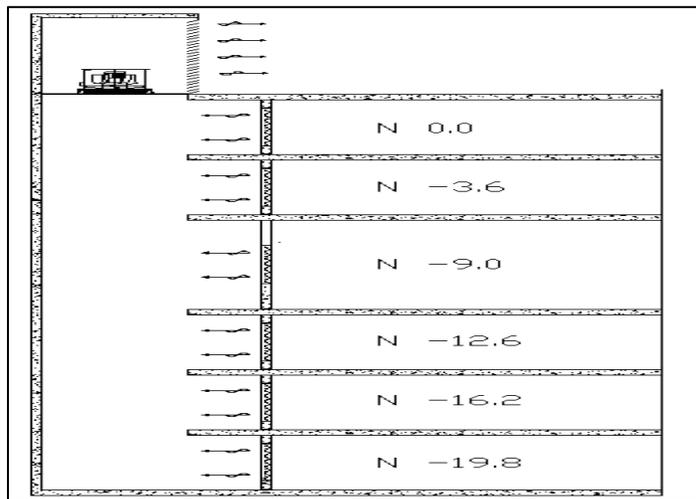
- 1.1. Área de Conductos (Torres): para Marín (2013) una vez obtenido el flujo de aire que se requiera dentro del área seleccionada, es necesario calcular el área

transversal de los conductos a utilizar y para ello es necesario que se aplique la ecuación.

$$A_{ext} = \frac{Q_{Ext}}{v}$$

Donde  $v$  representa la velocidad de los gases dentro de las torres y  $Q_{ext}$  representa el raudal total requerido. En la figura 2-13 se puede ver un ejemplo de la distribución de las torres de extracción por área y su ubicación:

**Fig. 2-12.** Corte de Conducto de Extracción



**Fuente:** (Marín, 2013)

1.2. Ventiladores Axiales: en este paso se hace necesario las pérdidas por recorrido en el sistema de tuberías y sus accesorios para ello se aplican las formulas del cálculo de Reynolds y el factor de fricción.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \qquad h_f = f \frac{L v^2}{D 2g}$$

1.3. Selección para los ventiladores axiales: Martin (2013) aplicó para este proceso el método de las curvas de rendimiento aplicando la fórmula

$$Pt = SP + Pd$$

1.4. Reguladores o Dampers motorizados y Rejillas Internas: No todos los conductos de extracción son aptos para ser usados en cualquier espacio, es necesario

obtener los volúmenes de flujo de viento y la velocidad máxima del aire.

- 1.5. Rejillas Exteriores o Louvers de Descarga: para los que se requieren los valores del flujo del volumen de cada torre.
- 1.6. Este proceso se repite ya por lo ventiladores de inyección de aire según Martin (2013) quien realiza paso por paso, pero en el caso de los Jet Fan donde sólo se sustituye los valores en función de los valores de los ventiladores de inyección para poder determinar cuáles y cuántos son los ventiladores a utilizar en cada terminal.
2. Simulación y Modelo mediante CFD: el modelaje con CFD puede ser utilizada para obtener un modelo real de la complejidad geométrica, intensidad de calor, puntos de extracción y los flujos tanto del viento como del humo (Soler y Palau, 2010). Explica la norma también que para obtener valores reales es necesaria la geometría de los elementos mecánicos y aplicar los peores escenarios en casos de incendios y de incremento súbito de flujo de humo (Soler, op.cit. 2010).

De allí que la modelación CFD normalmente es asistida por software de computadores y permite obtener modelos tridimensionales que determinen claramente el ambiente y las condiciones que debe afrontar el sistema de ventilación, además de la ubicación de los jet fan, el recorrido de los ductos y más allá de esto también se pueden determinar cuáles son los puntos que van a generar mayor demanda y que pueden convertirse en un punto de caída de flujo de aire, todo esto de acuerdo con el modelo de Martin (2013) permite optimizar la instalación del sistema de ventilación en forma más eficiente.

- *Geometría*

La geometría del área implica diversos elementos entre los cuales se pueden destacar nivel de inclinación, curvaturas, el área efectiva requerida, el área real disponible, de forma tal que del modelo presentado se puede decir con certeza que la geometría del área de trabajo determinará no sólo el método a aplicar para la instalación del sistema de ventilación sino que también determinará los costes que se aplicarán durante el la construcción del mismo, por lo que la geometría juega un papel clave dentro de la planificación de cualquier proyecto de ventilación (Marin, 2013).

- *Punto de Extracción*

Es el lugar donde se encuentra una abertura para los ventiladores de extracción o que

dirige hacia un ducto que lleva al ventilador extractor donde el humo es removido del estacionamiento (Soler y Palau, 2010).

En consecuencia, el punto de extracción tiene como principal función de acuerdo a lo dicho por Torres (2014) ayudar a la movilización del humo dentro de espacios cerrados como estacionamientos subterráneos, permitiendo la salida del humo y facilitando la entrada de aire limpio dentro del espacio seleccionado.

- *Aporte de Aire Fresco.*

Para Torres (2014) la principal función del sistema de ventilación radica en el hecho de que permite la movilización rápida y fluida del aire dentro de un espacio cerrado, lo que implica mantener el aire libre de partículas contaminantes, por lo que el caudal de aire se constituye en el elemento principal en el aporte de aire fresco en un ambiente susceptible como lo es un estacionamiento subterráneo.

Sin embargo, al revisar el modelo aplicado por Marín (2016) se puede notar que el ingreso de aire fresco debe ser controlado, ya que si el caudal es mayor al requerido se puede dispersar las partículas contaminantes dentro del ambiente en estudio y si es muy poco entonces las partículas contaminantes no tienen el suficiente empuje para llegar a los puntos de extracción, por lo que se hace necesario el cálculo preciso en función del área total y de la geometría de la zona con el propósito de poder obtener el aporte de aire fresco suficiente y necesario de acuerdo a los requerimientos del espacio.

- *Escenarios en los que se usa un Jet Fan.*

Torres (2014) expone: “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” (p.8). En este sentido es cuando los Jet Fan se hacen necesarios ya que como se ha dicho anteriormente, facilitan el flujo del aire hacia el punto de extracción más cercano.

Marín (2013) explica a este respecto que “un ambiente cerrado no permite un flujo adecuado de aire fresco hacia su interior, y es necesario implementar un sistema de ventilación forzada” (p.17). De tal manera que mientras más cerrado es el ambiente en el que se encuentran las partículas contaminantes más necesario e imperioso se hace el uso de los Jet Fan.

En el caso de Astete (2003) el principal problema que presentaba su ambiente tenía que ver con la producción industrial y los niveles de emanaciones que se producen dentro de ese ambiente, particularmente con el ambiente de una secuencia de hornos fundicionales, que no sólo generan gases y partículas contaminantes, sino que además generan grandes cantidades de calor por lo que el sistema de ventilación mixto por Jet Fan se hace necesario.

- *Beneficios del Jet Fan.*

De acuerdo con los autores estudiados se pueden apreciar múltiples ventajas o beneficios en la utilización de los Jet Fan, sin embargo, se pueden agrupar principalmente en los 3 modelos aplicados por diversas investigaciones y que son la base del presente trabajo, estas son:

1. Para Marín (2013) el principal beneficio del uso de la tecnología del Jet Fan tiene que ver con el hecho de su adaptabilidad a los requerimientos del área donde se aplican debido a que su funcionamiento es variable.
2. La adaptabilidad de las piezas también hace del Jet Fan un elemento benéfico en cualquier proyecto ya que minimiza los costes, tal como lo demuestra el modelo aplicado por Marcial (2019).
3. Variedad en el sistema de ventilación de cada ventilador, lo que permite tener diferentes flujos de aire dentro del sistema y así evitar los puntos muertos o las caídas súbitas de éstos flujos, de acuerdo con el modelo aplicado por Astete (2003).
4. Para Torres (2014) el principal beneficio de los Jet Fan radica en el hecho del consumo de energía, es decir, para el autor los elementos estudiados en los puntos anteriores se resumen en el consumo eficiente energía por la aplicación precisa de los componentes y correcto posicionamiento en la geometría del lugar.

### **2.2.2 Extracción de Monóxido de Carbono**

Debido a las características propias del Monóxido de carbono, es uno de los elementos más contaminantes y nocivos para la salud, esto en primer término, en segunda instancia es un efecto difícil de controlar en medio de la modernización en la que se encuentra en

mundo entero, ya que cada vez más la sociedad se hace dependiente de la comodidad (sistemas de calefacción, vehículos, producción industrial) que son factores que aportan altos niveles de monóxido de carbono en el ambiente.

Actualmente la población mundial ha presentado un incremento severo en los niveles de contaminación, tanto ha sido la afectación de las emisiones de gases que se ha generado dentro de la atmósfera que se conoce con el nombre de efecto invernadero, que no es más que la acumulación de gases nocivos para la salud de la población generando un incremento en los niveles de calor de todo el planeta. La generación de más calor se deriva en daños a los delicados equilibrios del planeta y por consiguiente de todos sus habitantes, esto se puede evidenciar en el incremento de enfermedades pulmonares nuevas o que ya se creían controladas. Para entender esto es necesario ver el mapa que se presenta en la figura 2-13:

**Fig. 2-13.** Mapa de concentración



**Fuente:** (Marín, 2013)

Estos niveles observados muestran la importancia de diseñar sistemas que permitan reducir los niveles de concentración de gases contaminantes, principalmente el monóxido de carbono, de allí se desprende la importancia de una correcta planificación estratégica a la hora de diseñar sistemas de extracción de gases contaminantes en espacios cerrados por ejemplo en sótanos o estacionamientos subterráneos.

Dentro de un ambiente cerrado, donde no se encuentra entradas naturales de aire fresco como es el caso de los sótanos, o de los estacionamientos subterráneos existe mucha

acumulación de gases tóxicos entre los que se encuentra el monóxido de carbono (CO), el cual de acuerdo con las normativas internacionales si supera lo niveles por encima de 0,5% puede ser perjudicial para cualquier individuo o grupo de personas, principalmente si se encuentra en un espacio cerrado.

De lo anterior Marcial (2019) expone “Se puede decir que en concentraciones supuestamente mínimas podría causar malestar en el individuo que puede ser diagnosticado como un síntoma de cualquier otra enfermedad común y corriente “(p.32). Todo lo expuesto pone en evidencia la necesidad de la extracción del CO de cualquier ambiente y en consecuencia evitar su acumulación.

**Tabla 2-2.** Tiempo de exposición de personas con el monóxido de carbono con respecto a la escala de concentración permisible de este gas.

Norma	Tiempo (horas)	CO <sub>max</sub> (ppm)
ACGIH	8	25
ASHRAE	8	9
	1	35
Canadá	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
Países Bajos	30 min	200
Reino Unido	8	50

**Fuente:** (Marcial, 2019)

De manera tal que todo lo dicho hasta este punto se puede decir que si no se cuenta con una entrada considerable de aire limpio, surge la necesidad de la instalación de un sistema de ventilación mixto, ya que es la única forma de contar con los niveles permisibles en las concentraciones de CO, de allí que los sistemas de extracción – inyección se presentan como los más eficaces, para ello Marcial (2019) explica que es necesario la utilización de ventiladores que permitirán la inyección extracción de aire, garantizando la reposición de aire limpio. Marcial (2019) define los ventiladores axiales como la principal herramienta en el proceso de extracción mecánica de CO dentro de un lugar cerrado como es el caso de un estacionamiento subterráneo por la calidad y versatilidad de su funcionamiento (Marcial,

2019).

### 2.2.2.1. Contaminación del aire por Monóxido de Carbono (CO)

Nufio (2005) lo define como “un gas incoloro, inodoro e insípido, ligeramente menos denso que el aire; comúnmente formado de la combustión incompleta de combustibles y productos que contienen átomos de carbono. Se presenta además en procesos industriales y biológicos “(p.12). Estas características lo convierten en un elemento sumamente tóxico e indetectable hasta que el daño es irreversible, la tabla que se presenta a continuación muestra en detalle las características físicas del CO:

**Tabla 2-3.** Características físicas del CO<sub>2</sub>

Peso Molecular	28.01 g/mol
Fase Solida	Punto de fusión: -205.07 °C Calor latente de fusión: (1.013 bar en el punto triple): 30.024 KJ/kg
Fase Liquida	Densidad del líquido: (1.013 bar en el punto de ebullición) 793.2 kg/m <sup>3</sup> Equivalente liquido/gas: 1.013 bar: -191.5 °C Calor latente de vaporización: (1.013 bar en el punto de ebullición): 214.68 KJ/Kg
Punto crítico:	Temperatura critica: -140.29 °C Presión critica: 34.94 bar Densidad critica: 303.91 Kg/m <sup>3</sup>
Punto triple:	Temperatura del punto triple: -204.99 °C Presión del punto triple: 0.153 bar
Fase gaseosa	Densidad del gas (1.013 bar en el punto de ebullición) 4.362 kg/m <sup>3</sup> Densidad del gas (1.013 bar y 15 °C (59 °F)): 1.1849 kg/m <sup>3</sup> Factor de compresibilidad: (Z) (1.013 bar y 15 °C (59 °F)): 0.99953 Gravedad especifica: (aire= 1) 0.97 Volumen especifico (1.013 bar y 21 °C (70 °F)): 0.8734 kg/m <sup>3</sup> Capacidad calorífica a presión constante (Cp) (1.013 bar y 15.6 °C (60 °F)): 0.0292 KJ/(mol/K) Capacidad calorífica a volumen constante (Cv) (1.013 bar y 15.6 °C (60 °F)): 0.0208 KJ/(mol/K) Razón de calores especificos (Gama Cp/Cv) (1.013 bar y 15.6 °C (60 °F)): 1.4013 Viscosidad: (1.013 bar y 0 °C (32 °F)): 1.6515E-04 poise Conductividad térmica (1.013 bar y 0 °C (32 °F)): 24.74 mW/(m.K)
Misceláneos:	Solubilidad en agua (1.013 bar y 0 °C (32 °F)): 0.0352 vol/vol Solubilidad en agua (1.013 bar y 20 °C (68 °F)): 0.0227 vol/vol Temperatura de Autoignición: 630°C

Fuente: Labanti (2016)

Mientras Ruiz (2011) establece que “la permanencia media de las moléculas de CO en la atmósfera, es de un mes aproximadamente, antes de oxidarse y convertirse en CO<sub>2</sub>” (p.10)

Esta afirmación indica que los niveles de CO son el veneno más silencioso y letal que existe en la naturaleza, lo marca la importancia de poseer las correctas normas de adecuación de los espacios susceptibles de contaminación.

Ruiz (2011) también explica “La concentración de CO en el aire, representa aproximadamente el 75% de los contaminantes emitidos a la atmósfera; sin embargo, es una molécula estable que no afecta directamente a la vegetación o los materiales” (p.11). Una vez leído lo anterior surge entonces la necesidad de verificar los efectos del CO en la salud humana ya que resulta tan alta la contaminación en aire de forma tal que compromete en forma grave la salud de los seres humanos.

Para Téllez (2006) uno de los mayores problemas más destacables de la contaminación por CO es que “una vez penetra al organismo, el monóxido de carbono se une a las enzimas del grupo Hem de la hemoglobina, desplazando al oxígeno de la misma. De esta manera se forma en la sangre un complejo que se denomina carboxihemoglobina, que dificulta el transporte de oxígeno a las células y tejidos, lo que va a producir una hipoxia celular generalizada” (p.111).

De lo anterior se hace evidente que las complicaciones respiratorias son las consecuencias más remarcables de la contaminación por CO, son las fallas respiratorias o sus enfermedades derivadas, específicamente las relacionadas con adhesión del CO en la sangre humana lo que se conoce como oxihemoglobina (COHb), sin embargo, de acuerdo con Labanti (2016) “La toxicidad del CO depende, esencialmente, del tiempo de exposición, la concentración ambiental y la ventilación minuto “(p.19).

Esta descripción muestra claramente el peligro que representa la sociedad, la cada vez más creciente demanda de las comodidades modernas para su propia salud, a continuación, se presentan los niveles de COHb y sus consecuencias en la salud.

**Tabla 2-4.** Nivel de gravedad de la concentración de CO en sangre.

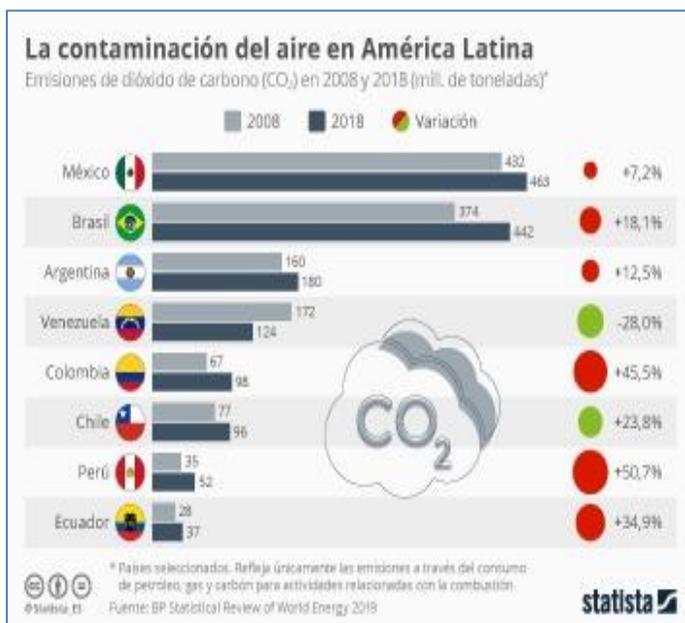
<b>COHb</b>	<b>Signos y Síntomas</b>
<10	No hay síntomas, salvo fatiga durante edl ejercicio físico.
10-20	Cefalea, fatiga.
20-30	Cefalea, náuseas, irritabilidad, taquipnea.
30-40	Cefalea severa, náuseas, vómitos, debilidad, letargia, alteraciones visuales, discinecias, dolor torácico.
40-50	Taquicardia, confusión, desorientación, síncope.
50-60	Síncope, convulsiones, coma.
>60	Muerte por parada cardio-respiratoria.

### 2.2.2.2. Niveles de Contaminación por CO.

Tellez et al (2016) (Téllez Jairo, 2006) expone un secuencia de porcentajes de contaminación por CO, por ejemplo en EE.UU la contaminación de CO por emisiones vehiculares alcanzan hasta un 95%, mientras que en Chile puede llegar hasta el 91%. Ahora bien, el resto de los países latinoamericanos de acuerdo con este estudio no escapa de esta realidad, es así como en México los niveles de CO alcanzan niveles de 11 partes por millón en una hora, lo que indica un nivel de concentración muy alto.

Continúa el estudio afirmando que en la ciudad de Sao Paulo la emisión alcanza 1,5 millones de toneladas de partículas por año, mientras que en la ciudad de Bogotá el nivel puede llegar a medir 30 a 35 partes por millón para el año 2005. En Colombia para el año 2019 entró en vigencia Ley que regula emisiones de gases contaminantes de vehículos. (LR La republica , 2019) En Latinoamérica los niveles de contaminación van en franco ascenso durante los últimos años, (Chevalier Naranjo, S., 2019)

**Fig. 2-14.** La Contaminación del aire en América Latina



**Fuente:** (Chevalier Naranjo, S., 2019)

En Colombia a pesar de ser uno de los países con menor niveles de emisión de Monóxido de carbono, se ve que van en franco crecimiento, lo que puede ser debido al crecimiento de parque automotor que presenta el país y representa en la actualidad un riesgo

importante, debido a que el nivel de población del país pudiere ser superado por los niveles de contaminación.

Aumentando el riesgo de un incremento en las enfermedades respiratorias en la población, de donde cobra fuerza el hecho de buscar soluciones eficientes para disminuir los efectos de las emisiones de monóxido de carbono en los estacionamientos subterráneos, como lo es un sistema de ventilación con sistema Jet Fan.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> en 2019 han sido de 86.550 kilo toneladas, con lo que Colombia es el país número 138 del ranking de países por emisiones de CO<sub>2</sub>, formado por 184 países, en el que se ordenan los países de menos a más contaminantes. (Datos Macro.com, 2019)

### **2.2.2.3. Medios de control de la contaminación por CO.**

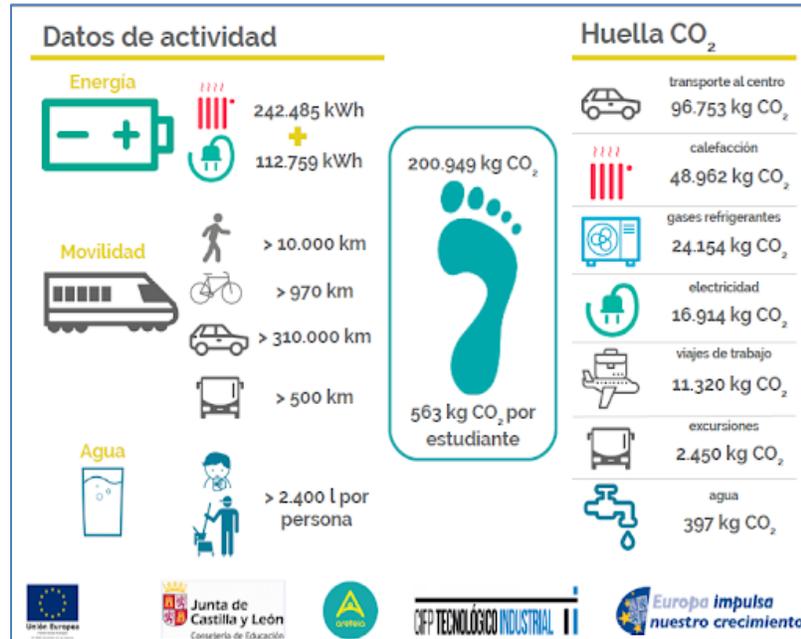
La necesidad de controlar los niveles de emisión de CO no sólo radica en los efectos nocivos en la salud de los hombres, sino que, además es necesario tomar en consideración los efectos que producen en el ambiente conocido como efecto invernadero, lo que puede ser estudiado a través de la llamada huella e carbono, donde se permite determinar el nivel de contaminación en niveles micro (per cápita, por región o por ciudad) pudiendo así tener una clara visión de cuáles son los elementos de mayor impacto para la salud y el ambiente.

Cada elemento productor de contaminantes, tiene sus propias características, lo que le permite alojarse en un área predeterminada o un sector productivo específico, dejando consigo un impacto directo en el ambiente, ese es el principio básico que rige la huella de carbono. Este proceso permite mantener controlado los niveles por cada sector y también la planificación de estrategias o la instauración de los sistemas de control de emisiones contaminantes. Para poder entender el proceso de la huella de carbono es necesario estudiar la infografía presentada en la figura 2-16.

Esta infografía presenta el nivel de consumo por actividad, así como el nivel de producción de CO que cada actividad genera, es evidente a preponderancia de la producción de los sistemas de transporte a base de combustibles fósiles, confirmando lo que ha dicho anteriormente que el mayor aportante de los gases contaminantes es el parque automotor. Sin embargo, es necesaria la activación de sistemas que vayan más allá de los meros decretos y leyes que rijan la materia, se hace necesario dar pasos firmes en dirección a la

transformación del uso eficiente de la energía y la movilidad, que le permitan a la sociedad mantener su modernidad sin la afectación de su salud y de la salud del planeta.

**Fig. 2-15.** Infografía del comportamiento de la huella de carbono



**Fuente:** (CIFP Tecnológico Industrial, 2018)

En el transcurso de la presente investigación se ha visto como principal método de control de contaminación por CO los sistemas de ventilación mecánica, sin embargo, este sistema sólo mueve las partículas contaminantes de un lugar a otro lo que no elimina el problema sólo lo reubica. De lo anterior entonces han surgido diversas formas de combustión ecológica “verde”, entre ellos se encuentra el modelo propuesto por Rivero et al (2018) que es la sustitución del sistema energético de un edificio.

Adicionalmente se puede encontrar soluciones para las emisiones de CO vehicular que según Tellez (2016) es la mayor aportación de gases contaminantes en el aire, transformando la combustión por combustible fósil a gas natural vehicular (Tellez & Rodríguez, 2006).

Adicionalmente se puede encontrar soluciones para las emisiones de CO vehicular que

según Tellez (2016) es la mayor aportación de gases contaminantes en el aire, transformando la combustión por combustible fósil a gas natural vehicular lo que conllevaría a una reducción de los niveles de emisión de gases vehiculares. Ahora bien, es necesario estudiar la posibilidad de generar sistemas alternativos similares a este que permita al sector manufacturero reducir también sus niveles de emisión, ya que, a pesar de que el parque automotor es el mayor contaminante, no se puede subestimar los niveles de contaminación generados por el sector industrial.

En este punto (University College London – Universidad de los Andes, 2013) en Colombia “La contaminación de aire en el país es causada principalmente por el uso de combustibles fósiles, ya sea por fuentes de emisiones móviles, fijas o aéreas. El 41% del total de las emisiones se genera en las principales ciudades del país donde Bogotá lidera, seguida por Medellín y Cali” (p.2). “En Bogotá, el Departamento Administrativo del Medio Ambiente estima que la concentración media de monóxido de carbono atmosférico se encuentra entre 30 y 35 partes por millón, estimado en un 76 % respecto a un día normal” (Departamento Administrativo del Medio Ambiente-DAMA, 2005)

## **3. Capítulo III. Metodología**

La metodología aplicable a esta investigación hace referencia a una investigación de campo y documental, enmarcada en un diseño experimental, con nivel explicativo, es importante mencionar que, para la concurrencia de un cuarto capítulo, en el cual se contendrá la ejecución de los objetivos específicos de investigación resulta necesario tener claridad de la metodología: lo cual permitió, el cálculo de los parámetros correspondientes, la simulación del emplazamiento de los ventiladores JET FAN y la disposición de la viabilidad técnica y económica de la propuesta estructural de circulación extractiva de emisiones contaminantes.

### **3.1 Tipo de Estudio**

Este estudio es considerado de campo con la finalidad de dar respuesta a la problemática planteada de forma previa, extrayendo la información y datos a través del uso de técnicas específicas de trabajo de campo, tal y como se hizo en este caso en cuanto a la medición de caudal de aire requerido mediante una calificación cuantificable y calculada que permitió conocer el volumen de aire, a fin de establecer los puntos de localización de los ventiladores con sistema jet fan para lo cual se realizó una simulación CFD (Computer Fluid Dynamics). Además de ello, el estudio de campo permitió seleccionar los equipos y accesorios requeridos para un adecuado desempeño del sistema jet fan.

Asimismo, se apoyó en una investigación de tipo documental que de acuerdo a lo planteado por Palella y Martins (2012): “se concreta exclusivamente en la recopilación de información en diversas fuentes. Indaga sobre un tema en documentos escritos u orales”

(p. 90). En tal sentido dicha modalidad se orientó hacia la resolución de algún problema o situación, pudiendo así obtener conocimientos a través de la recopilación, interpretación y análisis de la información obtenida exclusivamente de fuentes documentales.

Cabe destacar que la investigación es cuantitativa, debido a que permitió examinar los datos de manera más concretamente en forma numérica, puesto que, a través del cálculo se pudo obtener respuesta sobre el requerimiento de aire necesario para purificar un estacionamiento subterráneo que se pretende mejorar.

## 3.2 Diseño de Estudio

La presente investigación se enmarco en un diseño experimental de tipo factible, ya que se fundamentó en el diseño de un sistema de ventilación jet fan mediante la experimentación y adecuación de los elementos necesarios para el perfeccionamiento del mismo, usando la herramienta AutoCad la cual es un software que ayudo a establecer los parámetros en los cuales se debía diseñar cada punto de localización, es importante destacar que el diseño se realizó en un área dimensionada como estándar con las características comunes que pudiere tener un estacionamiento subterráneo con cuatro niveles hacia arriba.

## 3.3 Tipo de Estudio

Para el proceso de diseño y cálculo del sistema de ventilación mecánica del edificio en mención, se tomó como referencia la normativa y los procedimientos establecidos por la Sociedad Americana de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE, por sus siglas en inglés), en cuanto al capítulo 39 de refrigeración. (ASHRAE, 2017)

El sistema de ventilación propuesto, consiste en ventiladores Jet Fan, empleados para mover grandes volúmenes de aire que trabajan inmersos a 400 °C/2hrs, y 300 °C/2hrs (Bejarano, 2019), los cuales tienen las siguientes características:

- Envolverte tubular en chapa de acero de gran espesor
- Soporte de motor soldado a la envolverte

- Entrada aerodinámica y cono de descarga
- Óptima protección superficial mediante acero de alta calidad
- Hélice unidireccional construida en fundición de aluminio
- Silenciador tubular acoplado a ambos extremos que proporciona un alto aislamiento térmico, y acústico
- Base de soporte especialmente diseñada para la sustentación de todo el conjunto; a partir de 560mm incorpora muelles anti vibratorios
- Conexión eléctrica en caja de bornes externa
- Cable tipo E90 con protección metálica
- Amortiguador de vibraciones
- Anclaje de seguridad incluido
- Homologación según norma EN 12101-3: 2002/AC: 2008 (SODECA, 2019)
- El motor conlleva los siguientes elementos:
- Motor clase H, uso continuo S1, y uso de emergencia S2 con rodamiento a bolas, y protección IP-55
- Trifásicos 400/690V-50Hz
- Temperatura máxima del aire a transportar
- Servicio S1-20 °C + 70 °C en continuo
- Servicio S2 400 °C/2h, 300°C/2h (SODECA, 2019)

Para brindar una mayor comprensión de los detalles considerados al momento de diseñar el sistema jet fan se consideró valioso evaluar algunas imágenes de referencias como las figuras 20, 21 y 22:

**Fig. 3-1.** Ventilador Jet Fan



**Fuente:** (SODECA, 2019)

De allí que para la selección del diseño de instalación del modelo jet fan fue necesario realizar un análisis de las características técnicas, las cuales se disponen en la tabla 3-1.

**Tabla 3-1.** Características técnicas Jet Fan

Modelo	Velocidad r/min	Intensidad máxima admisible a 400v	Caudal m <sup>3</sup> /h	Vel.de impulsión m/s	Potencia kW	Presión sonora a 10m db	Peso Aprox Kg
2T-12	2950	19,2	29500	37,6	9	64	273
4T-2	1425	3,8	14550	16,4	1,5	50	197
2T-22	2960	32,3	40050	37,1	16	68	323
4T-3	1435	5,3	21550	19,2	2,2	53	241
4T-4	1430	6,6	28550	20	3	65	279
4T-5,5	1440	8,4	36900	20,4	4	63	414
4T-10	1460	17,7	52000	22,7	7,5	65	495
4T-15	1455	23	66500	23,5	11	63	667
4T-30	1470	42	98100	22,2	22	59	980
4T-50	1480	73	123700	28	37	62	1110

**Fuente:** (SODECA, 2019)

Para comprender mejor la situación del diseño del sistema de ventilación Jet Fan se referencia una imagen la cual permite conocer mejor el sistema propuesto como se puede ver en la figura 23:

**Fig. 3-2.** Ejemplos de sistema Jet Fan



**Fuente:** (SODECA, 2019)

De igual manera para esta propuesta se consideraron los modelos presentes en la tabla 13:

**Tabla 3-2.** Características técnicas de los equipos idóneos de instalación

	Anc ho (m)	Alto (m)	Vel 1. (rp m)	Vel 2. (rp m)	Emp uje 1 (N)	Emp uje 2 (N)	Vel. Imp ul 1 (m/ s)	Vel. Imp ul 2 (m/ s)	Caud al 1 (m3/s eg)	Caud al 2 (m3/s eg)	Cau dal 1 (m3/ hr)	Cau dal 2 (m3/ hr)	Caud al 1 (CFM )	Cau dal 2 (CF M)	Presi ón sono ra (dB( A))
IFF(H)T/ 4/8-50N- C	0.8	0.0 75	710	142 0	13	50	13. 43	26. 85	0.805 6	1.611 1	2900	5800	1708. 1	3416 .2	59/7 5
IFF(H)T/ 4/8-75N- C	1	0.0 9	710	142 0	19	75	12. 50	25. 00	1.125 0	2.250 0	4050	8100	2385. 45	4770 .9	61/7 7
IFF(H)T/ 4/8- 100N-C	1	0.0 9	710	142 0	24	95	13. 73	27. 47	1.236 1	2.472 2	4450	8900	2621. 05	5242 .1	63/7 8

El diseño de un sistema de ventilación dentro del proyecto de construcción del edificio, se presenta para una construcción de cinco niveles de sótanos los cuales serán destinados para uso de estacionamientos (S1, S2, S3, S4, S5), es importante tener en cuenta que el nivel principal es subterráneo y los otros cuatro niveles reposan verticalmente sobre este. En efecto, el sistema de ventilación que se perfiló como más idóneo y que de igual manera sirvió para la evacuación de las emisiones de monóxido de carbono en sótanos, se basó en el uso y distribución de equipos Jet Fan, que junto con un grupo de inyectores y extractores ubicados conforme los expresó el análisis estructural realizado.

El dimensionamiento de los sótanos, en cuanto a área y altura se refieren, resultando la siguiente información:

**Tabla 3-3.** Dimensionamiento de los sótanos para estacionamiento subterráneo

AMBIENTE	AREA (m2)	ALTURA (m)
Estacionamiento - Sótano 1	835.00	2.75
Estacionamiento - Sótano 2	905.00	2.75
Estacionamiento – Sótano 3	905.00	2.75
Estacionamiento - Sótano 4	905.00	2.75
Estacionamiento - Sótano 5	905.00	2.75

El espacio en cuestión consta de cinco sótanos, tal, y como se presenta en la información de la tabla anterior, y por tratarse de una locación subterránea, no existe un flujo de

ventilación normal, por cuanto se hace necesario acudir a un tipo de ventilación forzada. Éste aspecto, que es intrínseco de las áreas subterráneas, es de igual manera, el eje del diseño civil, y más por tratarse de la razón social, o uso del establecimiento, que, al corresponder a un perímetro para estacionamiento, conlleva en sí mismo a la generación de emisiones de gases inherentes al funcionamiento vehicular, y que algunos son considerados como contaminantes, y agresores de la salud ocupacional.

Estas emisiones pueden señalarse como la presencia de los siguientes tipos de gases, que son desprendidos por los motores de combustión:

- Monóxido de Carbono
- Dióxido de Carbono
- Óxido de Nitrógeno
- Dióxido de Azufre

Los gases mencionados, en su mayoría son tóxicos, pero no afectan la salud porque se diluyen en el aire, y disminuyen su concentración hasta límites inocuos; el gas más perjudicial de los mencionados se trata del monóxido de carbono, y es el que prescinde de reducir hasta 120p.p.m, de acuerdo a la ASHRAE (*American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineer*); el CO tiene afinidad con la hemoglobina, y forma Carboximoglobina, elemento que impide a la sangre efectuar un transporte oportuno de oxígeno a los tejidos (Marín, 2013).

Por consiguiente, en los espacios cerrados no se cuenta con la oportuna circulación de éste de tipo de emisiones, que son considerados contaminantes, y que son originados por la combustión vehicular, y en tanto, que la ventilación no se emplee en forma adecuada, pueden contraerse afecciones a la salud individual y colectiva. La contaminación que se adjudica en los ambientes de estacionamiento, como se ha dicho anteriormente, provienen de la combustión de los vehículos, los cuales emiten hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono, y óxidos de nitrógeno, cuya problemática redundante en que los vehículos son operados a diferentes velocidades, pueden no recibir el mantenimiento acorde a los requerimientos, y al modelo comercial; en consecuencia, se tienen los datos de tabla 13, sobre cantidades emitidas por los vehículos que suelen custodiarse en los estacionamientos, resultando:

**Tabla 3-4.** Emisiones vehiculares

Constituyentes	Parado ppm	Acelerando ppm	En marcha ppm	Desacelerando ppm
Hidrocarburos				
MECH	10000	6000	5000	30000
MEC	1500	1000	800	1500
Óxidos de Nitrógeno				
MECH	30	1200	650	30
MEC	60	850	240	60
Gases de Combustión				
MECH	6,8	105	25	18
MEC	25	105	77	70
CO, %				
MECH	5	5	0,6	5
MEC	0,4	0,2	0,03	-
CO <sub>2</sub> , %				
MECH	9,5	10	12,5	9,5
MEC	1	11	7	-

**Fuente:** (Torres M. , 2014)

Como puede observarse, los gases anteriores se derivan del proceso natural de combustión, y pueden encontrarse en cantidades superior a los 200 ppm, mucho más del rango permisivo por norma; de allí que para el caso del CO, el cual es la emisión de mayor nocividad, y afección, comprenda la principal solicitud de ventilación, ya que uno de los efectos que se pueden contraer ante la exposición progresiva, es la reducción paulatina del transporte de oxígeno a la sangre, provocando la muerte por envenenamiento; no obstante, las exposiciones breves a las inhalaciones del gas, puede ser inocuos para el organismo.

## 4. Capítulo IV. Resultados

### 4.1 Determinar la cantidad de aire requerido para la disminución de la concentración de monóxido de carbono garantizando que se mantenga por debajo del nivel permisible.

El Proyecto incluye la construcción de un estacionamiento subterráneo con cinco niveles de sótanos los cuales serán destinados para uso de estacionamientos (S1, S2, S3, S4, S5), destacando que el primer nivel es subterráneo. El sistema a implementar, para la evacuación de monóxido de estos espacios, se basa en el uso y distribución de equipos Jet Fan, que, junto con un grupo de inyectores y extractores ubicados estratégicamente, logran este propósito. Uno de los puntos más importantes a tener en consideración como parte del diseño de este sistema, es el garantizar el mínimo de altura disponible en sótano exigido por las normas internacionales de 2.10 m sobre NPT.

La ventilación es un requerimiento esencial a tener en consideración en la proyección de este estacionamiento, siendo obligatorio su uso en sótanos y estacionamientos (debajo y sobre nivel de piso), que no cuenten con la posibilidad de generar ventilación natural. Este requerimiento está directamente relacionado el confort y la seguridad de los usuarios. La ventilación mecánica para este establecimiento cumple dos funciones primordiales:

- En condiciones normales, garantizar la calidad del aire interior, mediante la inyección de aire fresco y la evacuación de contaminantes (CO) y aire viciado. Proceso que también nos aporta en mantener temperaturas de aire apropiadas.
- En condiciones de incendio, lograr que el entorno sea lo más seguro posible, que permita la evacuación de los usuarios y el ingreso del personal de rescate, mediante el control apropiado del flujo de humo.

El presente estudio se desarrolló en base al análisis únicamente para las condiciones de extracción de CO y aire viciado en el espacio seleccionado. Los caudales de aire a desplazar (Inyección/extracción), fueron calculados con base a diferentes referencias o normativas vigentes en el mercado internacional, dada la carencia de una norma colombiana para instalación de Jet Fan a continuación, una breve descripción de cada una de ellas:

- Concentración de Monóxido, "ASHRAE Applications 2003", capítulo 13 (Parking Garages), cálculo para encontrar la cantidad de monóxido generado en un estacionamiento.
- Renovaciones de aire, normativa británica "UK BS 7346-7:2006", para ventilación diaria (monóxido) y disipación de humo (sección 6).
- Normativa NFPA, "NFPA STANDARD 88-A", ventilación en estacionamientos cerrados.
- Generación de Humos, Normativa española "UNE 23585, diciembre 2004", Seguridad contra incendios.

Para realizar el dimensionamiento del sistema de Jet Fans, con el objetivo de calcular la cantidad de equipos a utilizar en el sistema, los cálculos se basaron en el planteamiento de las siguientes configuraciones: cálculo por líneas de impulsión y cálculo por áreas de ventilación.

Debido a que al cumplir con este objetivo y determinar la cantidad de aire requerido para la disminución de la concentración de monóxido de carbono garantizando que se mantenga por debajo del nivel permisible se obtiene el cálculo de la cantidad de equipos realizado por áreas de ventilación a la vez que se determina cual es el más apropiado, utilizando este método en el desarrollo del análisis general.

Para este cálculo se utilizó un algoritmo de ventilación por concentración de gases nocivos, el algoritmo de ventilación se inició cuando el contenido de CO en el interior del estacionamiento sobrepase cierto nivel (umbral "Set Point") considerado. En el interior del sótano, se ha proyectado la instalación de detectores para analizar la concentración de CO, con el fin de emitir señales cuando se logren lecturas mayores a las configuradas.

Las señales producidas por los detectores de CO, tuvieron la misión de activar o detener el sistema de ventilación compuesto por los inyectores, extractores y Jet Fans, además de modular la rotación de los equipos, actuando de esta manera en los flujos de aire. La activación de los ventiladores se realizó en función a la cantidad de equipos a utilizar, velocidad de giro y zonas de ventilación.

Esta activación estuvo en concordancia con los parámetros de contaminación obtenidos, velocidad y cantidad de aire que se requiera movilizar. Para esto, se procesaron las señales detectadas (CO), de manera que se pudo activar las diferentes secuencias de funcionamiento consideradas, con el propósito de optimizar los costos de energía eléctrica en todo momento. Los datos utilizados para los cálculos de entrada fueron las condiciones ambientales de la ciudad de Bogotá considerando una mínima: 0 m.s.n.m y una máxima de 60 m.s.n.m. Para la temperatura se consideró una mínima de 13 °C, una máxima: 30 °C y un promedio 21.5 °C, con una humedad relativa de 60 % como mínima y una máxima

de 100%, siendo la densidad del aire de 1.2 kg/m<sup>3</sup> y el área de los sótanos del estacionamiento de:

Sótano 1:

- Área (A): 835 m<sup>2</sup>.
- Altura (H): 2.85 m.
- Volumen (V): 2,379.8 m<sup>3</sup>.

Sótanos 2, 3, 4, 5:

- Área (A): 905 m<sup>2</sup>.
- Altura (H): 2.85 m.
- Volumen (V): 2,579.25 m<sup>3</sup>.

De allí que, de acuerdo a la geometría, las normas a utilizar y las condiciones del ambiente se tiene:

Tabla 4-1. Geometría, normas y condiciones ambientales

<b>Largo (La):</b>	<b>39</b>	<b>39</b>	<b>39</b>	<b>39</b>	<b>39</b>	<b>m</b>
Ancho (An):	34	34	34	34	34	m
Área (A):	835.0	905.0	905.0	905.0	905.0	m <sup>2</sup> .
% Área estacionamiento o disp.:	100%	100%	100%	100%	100%	%.
Altura (H):	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	m.
Volumen (V):	2379.75	2579.25	2579.25	2579.25	2579.25	m <sup>3</sup> .
Número de estacionamientos:	20	24	25	27	27	Und.
% carros en funcionamiento :	60%	60%	60%	60%	60%	% Hora Pico
# autos funcionamiento (N):	12	15	15	17	17	Und.
Tiempo auto en sótano (T):	60	60	60	60	60	Seg.
Distancia máxima In-Out (La):	100	100	100	100	100	m.
Densidad estándar del aire ( $\rho$ ):	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboracion propia (2021)

## 3. Condiciones del sistema de ventilación

## a. Por concentración de monóxido de carbono

ASHRAE Applications 2007: **Aplicaciones del año 2007 ASHRAE, capítulo 13 (Parking Garages), Concentración de Monóxido (CO).**

$$Q = Q' \cdot Af$$

Q: CFM/pie2 Caudal requerido para de inyección y extracción.

Q': CFM/pie2 Requerimiento mínimo de ventilación para que la concentración de CO no exceda las 25ppm. Af: ft2 Área efectiva de estacionamiento.

$$Q' = C \cdot F \cdot T$$

C: 0.0001363 CFM/pie2

Ventilación mínima para que el nivel de concentración no exceda las 25 ppm (Dato). F: Calculo Factor de generación de CO normalizada.

T: Seg Tiempo de permanencia del carro en el estacionamiento.

$$F = 100 \cdot G / Go$$

G: Calculo Generación de CO por unidad de área.

Go: 0.00546 lb/hrXpie2 Generación de CO por unidad de área, normalizada (Dato).

N: Und. Número de vehículos en funcionamiento

$$G = N \cdot E / Af$$

E: 1.544 lb/hr

Emisiones de CO de un motor promedio de un carro (Dato) Af: ft<sup>2</sup> Area efectiva de estacionamiento.

b. Según Renovaciones (R):

Normativa Inglesa: **UK BS 7346-7:2006, para ventilación diaria y disipación de humo. (sección 6)**

Monóxido (baja contaminación): **6** Ren/hr ACH Ventilación de la contaminación estándar (NPV) ACH: Air changes per hour  
 Humo (alta contaminación): **10** Ren/hr ACH Disipación de humo en emergencia ACH: Air changes per hour

**Consideraciones:** \* En caso de emergencia por incendio, será necesario aplicar un retraso en la activación de los ventiladores de impulso. Dicho retraso debería ser acordado con las autoridades competentes (Especialista del sistema de emergencia contra incendios) para asegurar la evacuación de las personas, según normativa BS 76437:2006, sección 9: "Impulse ventilation to achieve smoke clearance" (apartado 9.1.2)

\* Se debe asegurar que no existan zonas

estancas de aire con ventilación regular o ventilación para humos, según normativa BS 76437:2006, sección 9: "Impulse ventilation to achieve smoke clearance" (apartado 9.1.7)

\* La velocidad del aire en las rutas de escape no debería impedir escapar a los ocupantes. BS 7346:7 recomienda velocidades inferiores a 5m/s.

c. Según normativa NFPA: **NFPA STANDARD 88-A, para estacionamientos cerrados**

Factor de cálculo (Fca): 1 CFM/Ft<sup>2</sup>

d. Según UNE 23585: **Seguridad contra incendios UNE 23585, diciembre 2004.**

**Volume of Smoke (m<sup>3</sup>/s) = Smoke Production (Kg/s) X Absolute smoke layer Temp (K)**

**Air Density (kg/m<sup>3</sup>) X  
Absolute Ambient  
Temp (K)**

El volumen de Humo producido depende de:

- \* Tipo de ambiente, determinado por tabla según la norma.
- \* Altura del estacionamiento.
- \* Si el estacionamiento cuenta con rociadores o no.
- \* Potencia disipada por el incendio (MW).
- \* Temperatura ambiente.

Obteniéndose con estos datos los cálculos siguientes:

### 1.- Caudal (Q):

Caudal requerido de inyección y extracción

Tabla 4-2. Caudal requerido de inyección y extracción

	CFM S1	CFM S2	CFM S3	CFM S4	CFM S5
<b>CO, ASHRAE (CO generado)</b>	<b>2,775</b>	<b>3,469</b>	<b>3,469</b>	<b>3,931</b>	<b>3,931</b>
<b>UK BS 7346-7:2006 (CO)</b>	<b>8,399</b>	<b>9,103</b>	<b>9,103</b>	<b>9,103</b>	<b>9,103</b>
<b>UK BS 7346-7:2006 (Humos)</b>	<b>13,999</b>	<b>15,172</b>	<b>15,172</b>	<b>15,172</b>	<b>15,172</b>
<b>NFPA 88-A</b>	<b>8,988</b>	<b>9,741</b>	<b>9,741</b>	<b>9,741</b>	<b>9,741</b>
<b>UNE 23585 (Humo generado)</b>	<b>32,532</b>	<b>32,532</b>	<b>32,532</b>	<b>32,532</b>	<b>32,532</b>

$$Q = Q' \cdot Af$$

$$Q = V \times R = m^3/hr$$

$$Q = Fca \times A = CFM$$

**Velocidad Inducida (Vi):** Velocidad mínima del aire, inducida por en el sistema para generar el movimiento del fluido (aire + CO, aire + humo). La (m/seg): Longitud media del recorrido del aire (Distancia desde la entrada hasta la salida del aire).

Tabla 4-3. Velocidad inductiva

	m/seg	m/seg	m/seg	m/seg	m/seg	
<b>CO, ASHRAE (CO generado)</b>	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	
<b>UK BS 7346-7:2006 (CO)</b>	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	$V_i = Q/V * L_a = m/seg$
<b>UK BS 7346-7:2006 (Humos)</b>	0.461	0.500	0.500	0.500	0.500	$V_i = renovaciones/seg \times L_a = m/seg$
<b>NFPA 88-A</b>	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	
<b>UNE 23585 (Humo generado)</b>	0.715	0.715	0.715	0.715	0.715	
Velocidad recomendada min:	<b>0.200</b>	<b>0.200</b>	<b>0.200</b>	<b>0.200</b>	<b>0.200 m/seg</b>	Según ASHRAE ó según S&P
Velocidad recomendada min:	<b>0.461</b>	<b>0.500</b>	<b>0.500</b>	<b>0.500</b>	<b>0.500 m/seg</b>	Humos (UK BS)
Velocidad recomendada min:	<b>0.715</b>	<b>0.715</b>	<b>0.715</b>	<b>0.715</b>	<b>0.715 m/seg</b>	Humos (UNE)

## Fuerza (N):

Fuerza generada por los equipos JetFan, para impulsar el aire.

- \* Es necesario elegir un modelo de Jet Fan para poder calcular la fuerza generada.
- \* La elección del Jet Fan dependerá de las condiciones geométricas del estacionamiento, cantidad de equipos y ruido (presión sonora)

$Q_j$  (m<sup>3</sup>/seg): Caudal del Jet Fan

$\rho$  (kg/m<sup>3</sup>): Densidad estándar del aire

$\varnothing_j$  (m): Diámetro efectivo del ventilador

$\pi$  (Pi): 3.14159

$\rho$  (kg/m<sup>3</sup>): 1.2

$$F = \frac{4}{\pi} \rho \frac{Q_j}{\varnothing_j^2}$$

Modelo

JetFan1: IFF(H)T/4/8-50N-C

**Fuerza 1 (N)**

13

**Fuerza 2 (N)**

50

## Superficie de ventilación Normal (Spn):

Superficie nominal cubierta por el Jet Fan

F (N) (Kg.m/seg<sup>2</sup>): Fuerza ó Empuje

$\rho$  (kg/m<sup>3</sup>): Densidad estándar del aire

$V_i$  (m/s): Velocidad inducida

Fuerza 1: 13

Fuerza 2: 50

Constante de cálculo: 0.52

**JetFan1: IFF(H)T/4/8-50N-C**

$\rho$  (kg/m<sup>3</sup>): 1.2

$$Sp_n = \frac{F}{(0.52)\rho V_i^2} = m^2$$

Tabla 4-4. Superficie de ventilación normal

	m2	m2	m2	m2	m2
	S1	S2	S3	S4	S5
<b>CO, ASHRAE (CO generado)</b>	520.8	520.8	520.8	520.8	520.8
<b>UK BS 7346-7:2006 (CO)</b>	520.8	520.8	520.8	520.8	520.8
<b>UK BS 7346-7:2006 (Humos)</b>	376.3	320.4	320.4	320.4	320.4
<b>NFPA 88-A</b>	520.8	520.8	520.8	520.8	520.8
<b>UNE 23585 (Humo generado)</b>	156.8	156.8	156.8	156.8	156.8

Luego del cálculo realizado se pudo determinar la cantidad de equipos requeridos, obteniendo como resultado de la relación entre el área total del ambiente y el área cubierta por el Jet Fan.

$$\#JF = \frac{A_t}{S_{pn}} = Und$$

Tabla 4-5. cantidad de equipos requeridos

	Und S	Und S2	Und S3	Und S4	Und S5
CO, ASHRAE (CO generado)	1.60	1.74	1.74	1.74	1.74
UK BS 7346-7:2006 (CO)	1.60	1.74	1.74	1.74	1.74
UK BS 7346-7:2006 (Humos)	2.22	2.82	2.82	2.82	2.82
NFPA 88-A	1.60	1.74	1.74	1.74	1.74
UNE 23585 (Humo generado)	5.33	5.77	5.77	5.77	5.77

### Resumen de equipos:

A continuación, se presente el resumen de la cantidad de equipos y sus capacidades:

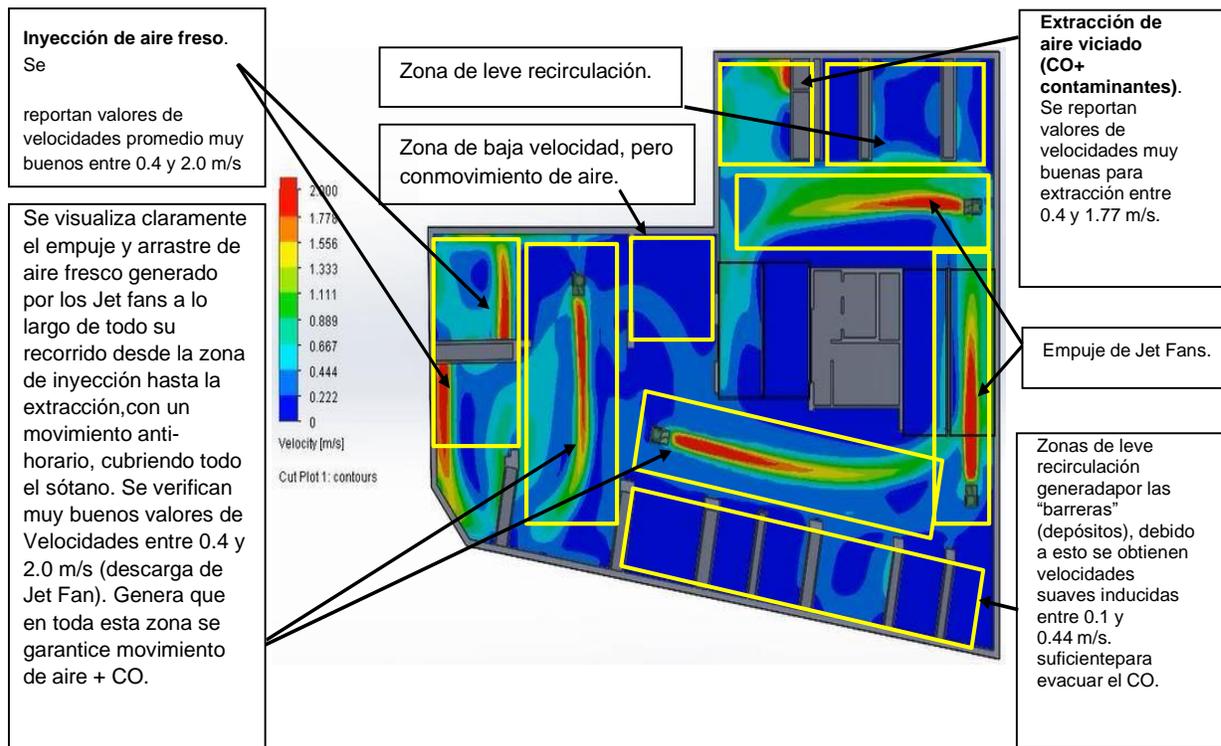
	SOTANO 1	SOTANO 2	SOTANO 3	SOTANO 4	SOTANO 5	Und	Modelo
Jet Fans (Und), recomendados	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	19.00	IFF(H)T/4/8- 50N-C
IN-01(CFM)	7,000.00	7,600.00	7,600.00	7,600.00	7,600.00		
EXT-01(CFM)	7,000.00	7,600.00	7,600.00	7,600.00	7,600.00		

Equipos	CAUDAL	CAIDA PRES.	CANT.	
	CFM	inwg	UND.	
IN-01,02-S1	3,500.00	0.25	2	Axial
IN-01,02-S2	3,800.00	0.30	2	Axial
IN-01,02-S3	3,800.00	0.30	2	Axial
IN-01,02-S4	3,800.00	0.40	2	Axial
IN-01,02-S5	3,800.00	0.40	2	Axial
EXCO-01	22,200.00	1.20	1	centrifugo doble entrada
EXCO-02	15,200.00	1.20	1	centrifugo doble entrada

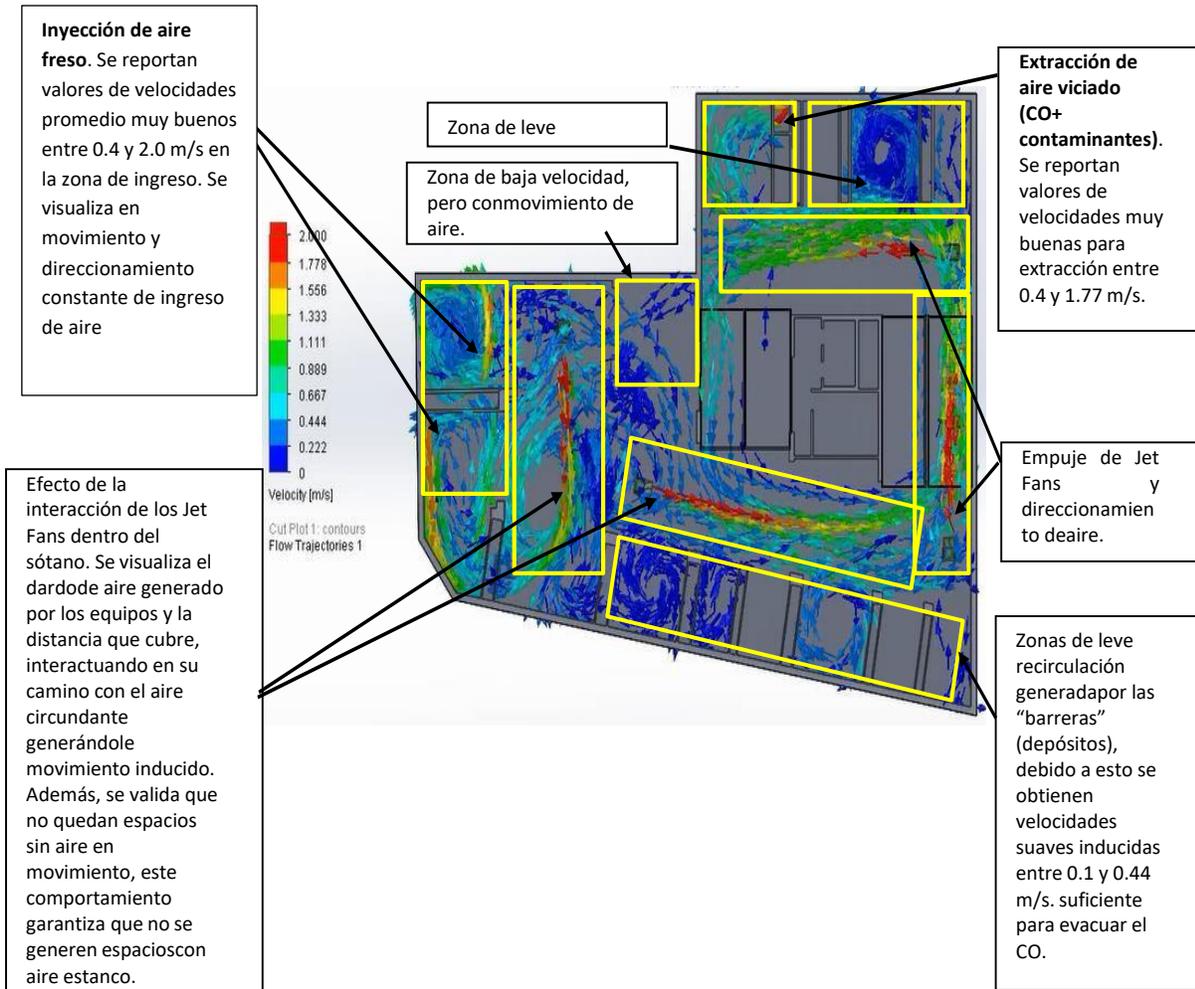
Fig. 4-1. Equipos requeridos

## 4.2 Establecer los puntos de localización de los ventiladores Jet Fan mediante la herramienta de simulación CFD (Computer Fluid Dynamics).

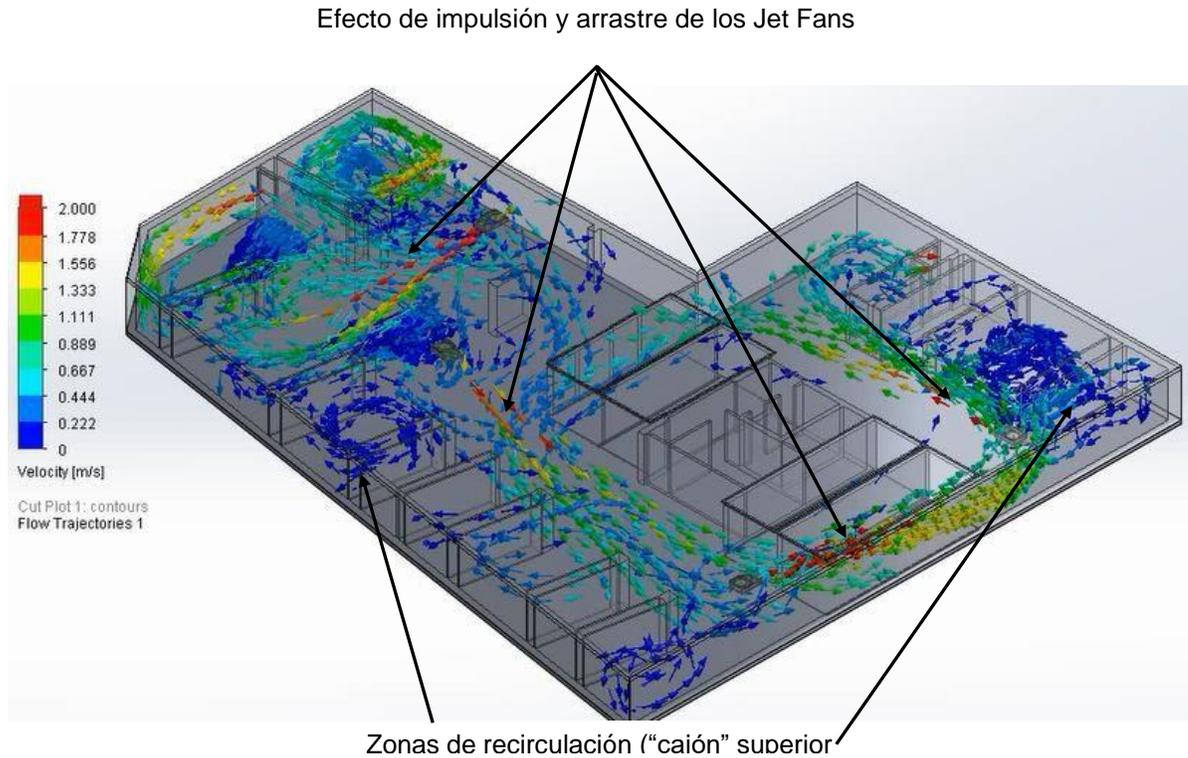
Para establecer los puntos de localización de ventiladores de jet fan mediante herramienta de simulación versión de prueba Software de Diseño CAD 3D Solid Works 2017, el cual es un módulo especializado para CFD. En cada uno de los sótanos se han considerado 4 equipos Jet Fan, para generar el movimiento necesario de aire desde la zona de inyección hasta el punto de extracción, a continuación, se detalla el comportamiento del sistema según las curvas de velocidad generadas:



Resultados sótanos vista de planta (Vectores de velocidad): En cada uno de los sótanos se han considerado 4 equipos Jet Fan, para generar el movimiento necesario de aire desde la zona de inyección hasta el punto de extracción, a continuación, se detalla el comportamiento del sistema según los vectores de velocidad generados (direccionamiento del aire):



Resultados sótanos vista isométrica (Vectores de velocidad): En la vista isométrica se aprecia claramente como los equipos Jet Fan impulsan aire y generan "Dardos" que cubren de aire todo el espacio desde piso a techo, generando movimiento en todo el sótano. Como suele suceder en todo tipo de sótano, debido a barreras como paredes o depósitos, se generan zonas de recirculación, en este caso se visualizan dos áreas ("cajón" superior e inferior), esto no llega a ser un problema debido a que, a pesar de su comportamiento, se logrará evacuar el aire viciado de estas zonas en un determinado tiempo.



### 4.3 Seleccionar los equipos y accesorios que faciliten el buen desempeño y funcionamiento del sistema Jet Fan.

Los equipos seleccionados para realizar un buen desempeño de una instalación jet fan según la simulación realizada para el espacio de estacionamientos visitados en la ciudad de Bogotá serían los siguientes:

Referencia producto: IN-01,02-S1

Referencia producto: IN-01,02-S2,S3

Referencia producto: IN-01,02-S4,S5

5HGT800L-HGT-800-1/2-(220~3)

**Extractor helicoidal mural HGB-T**, marca S&P, modelo 5HGT800L-HGT-800-1/2-(220~3), con caudal 4.501 cfm y presión 0,287 inwg. Fabricado con hélices aerodinámicas

y eficientes, embocadura embutida en todos los tamaños, con venturi prolongado para reducción de turbulencias, diseño especial de soporte y base motor de gran resistencia, que facilita el mantenimiento, rodamientos de uso industrial a bolas, acabado en pintura en polvo poliéster electroestático, motores trifásicos, totalmente cerrados, con ventilación forzada, eje en acero, calculado con diámetros que superan los parámetros de carga.

Referencia producto: IN-01,02-S1 ALT1

Referencia producto: IN-01,02-S2,S3

Referencia producto: IN-01,02-S4,S5

### **5AGET800-AGE-T-800-(220~3)**

Extractor axial de transmisión poleas y bandas, marca S&P, modelo 5AGET800-AGE-T-800-(220~3), con caudal 4.087 cfm y presión 0,237 inwg. Cuenta con hélices en 6 álabes de perfil aerodinámico, persiana de apertura mecánica, activada por el extractor, motores monofásicos y trifásicos, en cada tamaño y construcción en lámina galvanizada.

Referencia producto: EXCO-01

Referencia producto: EXCO-02

### **BDB-I900-15HP/4-750RPM-(208-230~3)**

Serie BDB Clase I compuesta por ventiladores centrífugos de doble oído de aspiración y rodete de álabes atrasados, marca S&P, modelo BDB- I900-15HP/4-750rpm-(208-230~3), con caudal 32.413 cfm y presión 1,23 inwg. Estos ventiladores brindan grandes prestaciones de caudal– presión con mínimo consumo de energía y nivel sonoro bajo.

Referencia producto: VCP-01

Referencia producto: VCP-02

### **CMI-710-7,5HP/4-1050RPM-(208-230~3)**

Gama de Equipos centrífugos de simple aspiración modelo **CM Clase I**, con dos opciones de rodete: de álabes atrasados o del tipo airfoil, marca S&P, modelo CMI-710-7,5HP/4-1050rpm-(208-230~3), con caudal 12.467 cfm y presión 0,743 inwg. Ideales para la inyección o extracción de aire en aplicaciones comerciales e industriales.

Referencia producto: VCP-01 ALT1

Referencia producto: VCP-01 ALT2

Referencia producto: VCP-02 ALT1

Referencia producto: VCP-02 ALT2

### **CDAH-22/22-7,5HP/4-575RPM-(208-230~3)**

Unidades de ventilación diseñadas para la inyección y extracción de aire con opción en descarga horizontal o vertical **CDA**; su estructura está fabricada en lámina de acero galvanizada que la hacen un conjunto ideal para instalaciones en intemperie, marca S&P, modelo CDAH-22/22- 7,5HP/4-575rpm-(208-230~3), con caudal 12.568 cfm y presión 0,755 inwg.

Referencia producto: INVV-01

Referencia producto: EXVV-01

### **5HXM-250 - HXM-250-127V - EXTRACTORES AXIALES DIRECTOS**

Extractor axial de muro, marca S&P, modelo HXM-250-127V, con caudal 431 cfm y presión 0,092 inwg. Acabado exterior pintado, hélices con alineación y balanceo preciso, marco protector fabricado en lámina de acero y alambre pulido, acabado poliéster blanco horneado.

## **5. Conclusiones y recomendaciones**

### **5.1 Conclusiones**

Este proyecto se llevó a cabo mediante el diseño de un sistema de ventilación Jet Fan lo cual requirió en primera instancia visitar diversos estacionamientos tanto subterráneos como de piso, con la finalidad de encontrar un área con características cerradas y poca o nula ventilación natural. La idea era comprobar si es posible determinar la cantidad de aire requerido para eliminar el monóxido de carbono y así también determinar cuántos equipos hacen falta para ventilar mecánicamente un estacionamiento estándar.

Pero, dado el bajo registro normativo nacional, se tuvo que recurrir a normativas internacionales capaces de contribuir con el cálculo de altura. Sin embargo, ante la falta de un sitio físico real que cumpliera con las características específicas se tomó como base un estacionamiento subterráneo ubicado en la ciudad de Bogotá y cuya altura sobre la base del primer piso permitiría la construcción de cuatro niveles adicionales.

En tal sentido, se diseñó siguiendo el dimensionamiento del estacionamiento subterráneo cuatro niveles de estacionamientos llamando a este conjunto S1, S2, S3, S4 y S5, los mismos se detallan en los anexos. El diseño de estos planos mediante software AutoCad y exportación a SoliWord permitió realizar una simulación para ubicar cada punto de ventilación. En tal sentido el diseño de los planos permitió determinar la cantidad de aire requerido para liberar cada espacio de monóxido de carbono y así dar respuesta al primer objetivo fundamentando en el proyecto en las cuatro normas usadas para el mismo.

Por otra parte, la simulación permitió conocer el número de ventiladores y áreas de ubicación, mientras el tercer objetivo se pudo desarrollar gracias al resultado de los dos primeros.

### **5.2 Recomendaciones**

Se recomienda dada la comprobación de que se puede diseñar este sistema sin la necesidad de un espacio físico contribuido en su totalidad, comprobar la eficiencia del diseño en otras áreas cuya contaminación del aire sea alta o exista riesgo de ser contaminada por gases nocivos.

Asimismo, se recomienda desarrollar este proyecto a partir de una idea de mejora o estudio de factibilidad en áreas de concentración de gases nocivos .

## **A. Anexo: Planos diseñados para simulación**

Los planos presentados fueron construidos en AutoCad y exportados a SoliWord versión de prueba gratuita para realizar simulación según dimensionamiento de un estacionamiento ubicado en la ciudad de Bogotá cuyo acceso fue posible mediante la intervención de empresa de mantenimiento e higiene para poder llevar a cabo este diseño.



















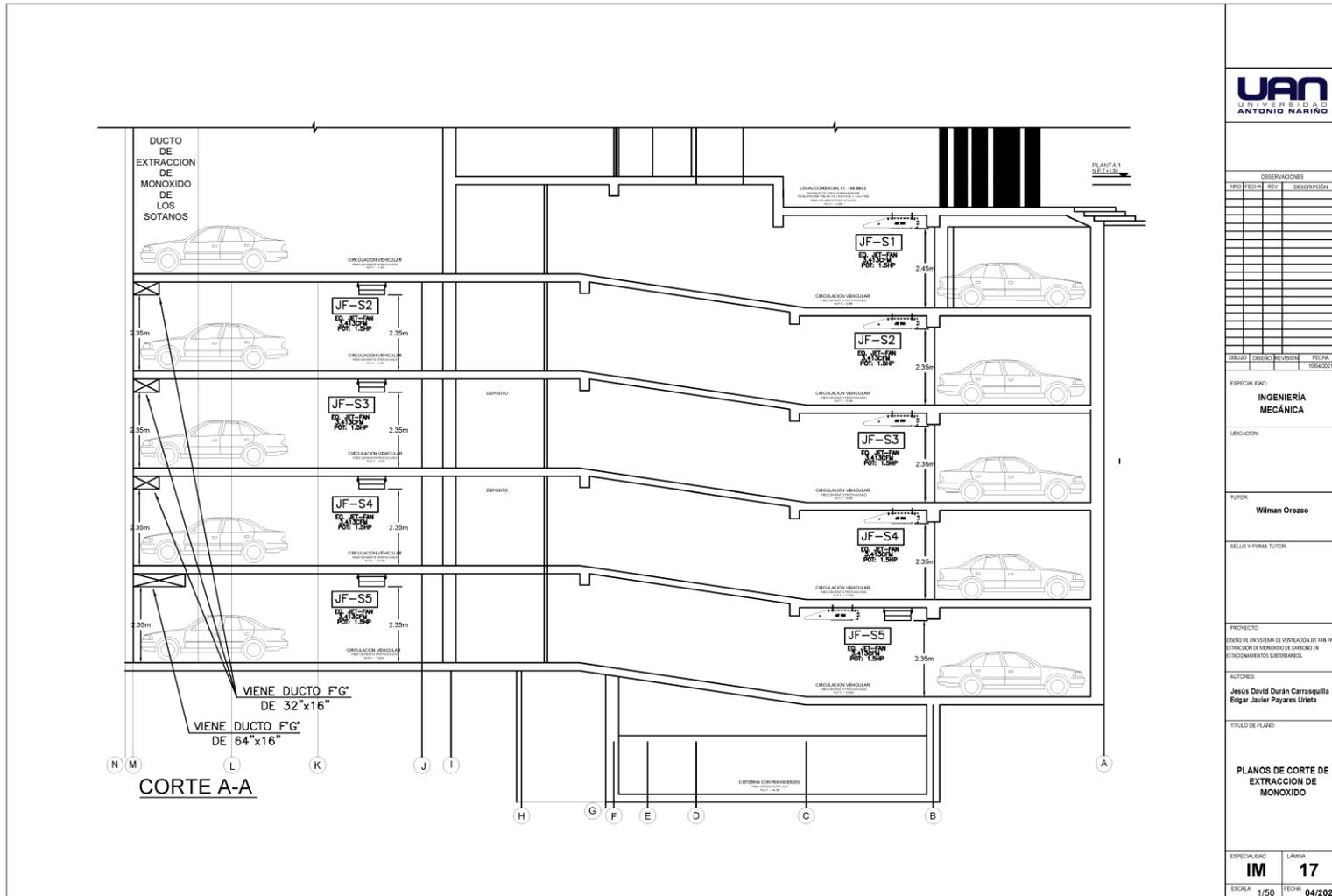


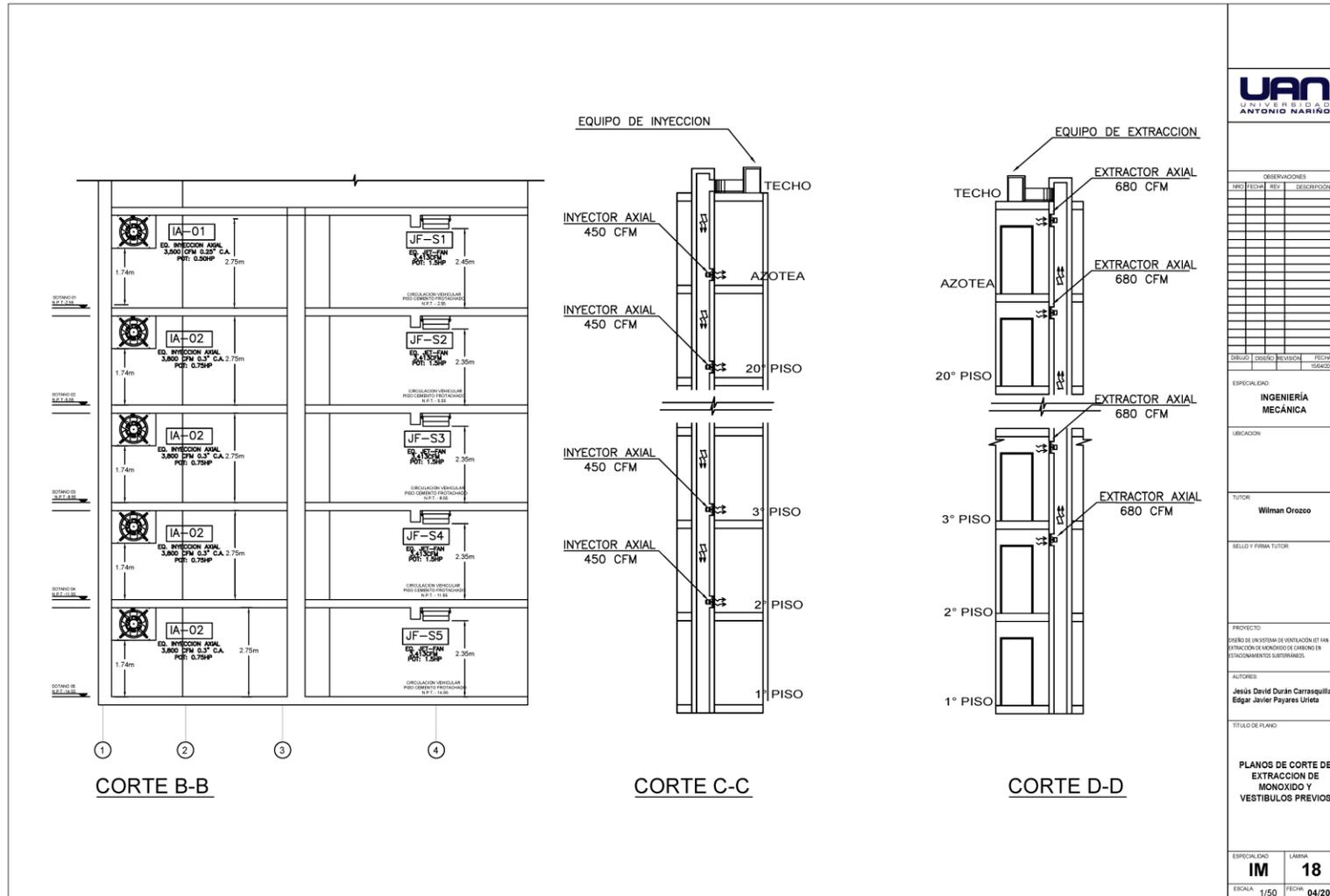
















## **B. acuerdo con su contenido**

A final del documento es opcional incluir índices o glosarios. Éstos son listas detalladas y especializadas de los términos, nombres, autores, temas, etc., que aparecen en el trabajo. Sirven para facilitar su localización en el texto. Los índices pueden ser alfabéticos, cronológicos, numéricos, analíticos, entre otros. Luego de cada palabra, término, etc., se pone coma y el número de la página donde aparece esta información.



## Bibliografía

- ASHRAE. (2017). *Sociedad Americana de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado*. Obtenido de [https://www.academia.edu/37476058/2017\\_ASHRAE\\_Handbook\\_Fundamentals\\_SI.pdf](https://www.academia.edu/37476058/2017_ASHRAE_Handbook_Fundamentals_SI.pdf)
- Astete Dante, P. M. (2003). *Diseño de un sistema de captación de humos de los hornos de mantenimiento en la industria de la fundición*. Universidad Central de Venezuela. Obtenido de <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/6757/1/Tesis%20Final%20Astete-P%C3%A9rez.pdf>
- Bai, Zhenpeng; LI, Yanfeng; LI Junmei. (2019). *Numerical Study the Performance of Jet Fans in Utility Tunnel Ventilation*. Beijing, China. [Artículo en línea]. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8669538>
- Bejarano, M. (29 de Junio de 2019). *solarpalau*. Obtenido de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/instalacion-jet-fans/>
- Cabrera Acosta, Andrés Gonzalo; Acosta, Gómez, Roberto Carlos. (2017). *Concentraciones de Monóxido de Carbono y su Incidencia en la Salud del Personal que Labora en el Parqueadero del Edificio Principal del Gad Municipal De Ambato*. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. [Tesis en línea]. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25951>
- Carlos, M. (2013). *Diseño de un sistema de ventilación mediante el uso de CFD*. Universidad San Francisco de Quito. Obtenido de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/2486>
- Chevalier Naranjo, S. (2019). *Statista*. Obtenido de <https://es.statista.com/grafico/20195/emisiones-de-co2-en-paises-latinoamericanos-seleccionados/>

- Chimbo Lorena, Ortiz Leandro. (2012). *Diseño de un sistema de extracción localizada de gases y polvos del proceso de reconstrucción mecánica de turbinas hidráulicas para el control de impacto ambiental* (HIDROAGOYAN). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/2347>
- CIFP Tecnológico Industrial. (2018). *Análisis de la huella de carbono del CIFP TECIN*. Obtenido de <http://www.cifptecin.com/content/analisis-de-la-huella-de-carbono-del-cifp-tecin>
- Datos Macro.com. (2019). *En Colombia se incrementan las emisiones de CO2*. Obtenido de <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/colombia#:~:text=Las%20emisiones%20de%20CO2%20en%202019%20han%20sido%20de%2086.550,de%20menos%20a%20m%C3%A1s%20contaminant%20es.>
- Departamento Administrativo del Medio Ambiente-DAMA. (2005). *Informe del día sin carro en Bogotá*. Obtenido de <http://www.dama.gov.co/>
- Edificaciones, R. N. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- EL UNIVERSO. (2010). *Parques cerrados acumulan mas gases que contaminan*. *El Universo*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2010/04/27/1/1445/parqueos-cerrados-acumulan-mas-gases-contaminan.html>
- Epalza Vela, Paola Andrea; Gutiérrez Alfonso, Liyibeth Yisney. (2019). *Análisis del riesgo por exposición la monóxido de carbono en parqueaderos cerrados de centros comerciales de Villavicencio*. Villavicencio. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/15516>
- Escoda, S. (2015). *Manual Práctico de Ventilación. Catálogo Técnico*. Barcelona: Roselló.
- Estrada, M. (2017). *Implementación de un sistema de ventilación forzada para el estacionamiento de Naranjales*. Lima: Universidad Privada del Norte.
- Gatica, R. (2017). *Manual de Termodinámica- Calameo*. Obtenido de <https://es.calameo.com/books/004667375a48d3021d315>
- IDEAM. (2014). *Informes del estado de la calidad del aire*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/informes-del-estado-de-la-calidad-del-aire-en-colombia>

- Kmecová, Miroslava; Krajcik, Michal; Straková, Zuzana. (2018). *Designing Jet Fan Ventilation for an Underground Car Park by CFD Simulation*. Universidad de Tecnología de Bratislava, Eslovaquia. [Artículo en línea]. Obtenido de <https://pp.bme.hu/me/article/view/12529>
- Labanti, M. (2016). *Investigación de la Intoxicación por Monóxido de Carbono*. Obtenido de <https://www.famaf.unc.edu.ar/documents/1306/2-Labanti-Mauricioi.pdf>
- LR La republica . (2019). *Ley que regula emisiones contaminantes de vehiculos*. . Obtenido de <https://www.larepublica.co/economia/entro-en-vigencia-ley-que-regula-emisiones-de-gases-contaminantes-de-vehiculos-2887410>
- Marcial, Y. (2019). *Diseño de un sistema de ventilación mecánica para asegurar la concentración permisible de monóxido de carbono en el estacionamiento subterráneo del edificio de la Escuela Nacional de Control de la Contraloría General de la República*. Perú. [Tesis en línea]. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/UTP/2110>
- Ruíz, María. (2011). *Determinación de niveles de contaminación por monóxido de carbono en trabajadoras de tortillerías a base de leña de la Ciudad de Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06\\_3188.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3188.pdf)
- Marín, C. (2013). *Diseño de un sistema de ventilación mediante el uso de CFD*. Ecuador: Universidad de San Francisco de Quito.
- Nufio, I. (2005). *Determinación de niveles de contaminación producida por monóxido de carbono (CO) en trabajadores de parqueos en sótanos de edificios por vehículos automotores en la ciudad de Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/QF919.pdf>
- Pallela, Santa., y Martins, Filiberto. (2012). *Metodología de la investigación cuantitativa*. Caracas, Venezuela: FEDEUPEL. doi:ISBN: 980-273-445-4
- Pinedo, C., Verano, J., & Barrantes, V. (2020). *Análisis del control de emisiones*. Obtenido de <https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/southsustainability/article/download/598/658/>
- Rengifo Abanto, Guillermo Alejandro; MARCIAL VALLADARES, Yampier Alberto. (2019). *Diseño de un sistema de ventilación mecánica para asegurar la concentración permisible de monóxido de carbono en el estacionamiento subterráneo del edificio*

- de la Escuela Nacional de Control de la Contraloría General de la República. Perú. [Tesis en línea. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/UTP/2110>
- Rivero Camacho, C. P. (2018). *Huella de carbono como instrumento de decisión en la rehabilitación energética. Películas de control solar frente a la sustitución de ventanas. Revista hábitat sustentable, 8(2), 20-31.* Obtenido de <https://dx.doi.org/10.22320/07190700.2018.08.02.02>
- Rocha Andrés, Castañeda Heiner, Salcedo Jairo, De La Cruz Luis, Roldán Javier. (2017). *Diseño de un banco de pruebas para ventiladores axiales en serie, norma ANSI/AMCA 210. Universidad del Atlántico.* Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84955649004.pdf>
- Rojas Freddy J., P. S.-C. (2019). *Pronóstico de Reducción de Emisiones, de Enfermos y de Gastos Asociados al incluir el Gas Natural dentro de la Matriz Energética en Perú. Información tecnológica, 30(3), 117-126.* Obtenido de <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000300117>
- Salazar Mera, Esvin. (2017). *Diseño de un sistema de ventilación con detección de monóxido de carbono (CO) para sótano de un edificio multifamiliar.* Lambayeque – Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”. Obtenido de <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/2243>
- Sierra Orozco, Roberto Esteban. (2015). *Diseño y Simulación de un extractor de humos de soldadura para espacios confinados.* (Universidad Tecnológica de Pereira) Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5148/621815S572.pdf?sequence=1>
- SODECA. (2019). *Especificaciones Técnicas JET FAN.*
- Soler y Palau. (2010). *Rotero.* Obtenido de <https://rotero.com/media/downloads/Axiaal%20ventilatoren%20Soler%20%26%20Palau.pdf>
- ŠPILjar, Željko; Drakulic, Miodrag; Scheneider, Daniel Rolph. (2017). *Analysis of Jet Fan Ventilation System installed in an Undergroud Car Park with partition Walls.* Centro Internacional para el Desarrollo Sostenible de Sistemas de Energía, Agua y Medio Ambiente (SDEWES), Croacia. [Artículo en línea]. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/321250479\\_Analysis\\_of\\_Jet\\_Fan\\_Ventilation\\_System\\_installed\\_in\\_an\\_Underground\\_Car\\_Park\\_with\\_Partition\\_Walls](https://www.researchgate.net/publication/321250479_Analysis_of_Jet_Fan_Ventilation_System_installed_in_an_Underground_Car_Park_with_Partition_Walls)

- Suárez, E. (julio de 2019). *Sistemas de Ventilación y Componentes*. Obtenido de <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/cual-es-la-formula-que-nos-permite-calcular-el-caudal-de-aire-de-renovacion/>
- Téllez Jairo, R. A. (2006). *Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental*. *Revista de Salud Pública*, 8(1), 108-117. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0124-00642006000100010&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-00642006000100010&lng=en&tlng=es).
- Torres, M. A. (2014). *Diseño de un sistema de ventilación para estacionamiento subterráneo de tres niveles.pucp, Lima, Perú*. Obtenido de [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5998/TORRE\\_MARIO\\_DISE%c3%91O\\_SISTEMA\\_VENTILACION\\_ESTACIONAMIENTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5998/TORRE_MARIO_DISE%c3%91O_SISTEMA_VENTILACION_ESTACIONAMIENTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Tovar, C. M. (2013). *Diseño de un sistema de ventilación mediante uso de CFD*. Quito-Ecuador: Universidad de San Francisco de Quito.
- University College London – Universidad de los Andes. (2013). *Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia*. Obtenido de <https://prosperityfund.uniandes.edu.co/site/wp-content/uploads/Caracterizaci%C3%B3n-de-la-contaminaci%C3%B3n-atmosf%C3%A9rica-en-Colombia.pdf>
- Yampier, M. (2019). *Diseño de un sistema de ventilación mecánica para asegurar la concentración permisible de monóxido de carbono en el estacionamiento subterráneo del edificio de la Escuela Nacional de Control de la Contraloría General de la Republica*. . Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/UTP/2110>